

# **Avaliação do desempenho de ancoragens para reabilitação e desenvolvimento de recomendações para integração em ambiente BIM**

**BRUNO MIGUEL ESTEVES DE SOUSA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS**

---

Orientador: Professor Doutor Humberto Salazar Amorim Varum

---

Coorientador: Engenheiro Gonçalo Dias Carvalho

JUNHO DE 2018

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2017/2018**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.





À minha mãe

*“O homem que tem presunção e brio de si próprio só sente verdadeira alegria ao vencer as grandes dificuldades. As pequenas dificuldades não pesam na vida dos homens e não podem dar-lhes a consciência, a alegria plena do cumprimento do dever.”*

*Professor Doutor António de Oliveira Salazar*



## **Agradecimentos**

Eis que chegou ao fim esta campanha de produzir uma dissertação. Não podia de deixar de dirigir algumas palavras de agradecimento a todos os que contribuíram para a sua elaboração, ora por estarem diretamente implicados, ora por pura simpatia.

Começaria, então, por agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Humberto Varum, pela sua orientação e pela oportunidade que me deu em desenvolver este trabalho.

Agradeço, também, ao meu Coorientador, Engenheiro Gonçalo Dias Carvalho, pela sua simpatia e pela oportunidade que me concedeu em contactar com o mundo empresarial.

Gostaria de agradecer ao Engenheiro José Carlos Lino e ao Engenheiro Luís Castro pelo forte contributo que deram para a realização desta Dissertação.

Reservo, também, algumas palavras de apreço ao Professor Doutor Miguel Ferraz, Professor Doutor José Miguel Castro e ao Engenheiro Rui Gomes, pois num (grande) gesto de simpatia, prescindiram do pouco tempo que têm para poder prestar algum auxílio na realização deste trabalho.

Por fim, e não menos importante, agradeço ao meu amigo Bruno Canhoto pela ajuda que prestou nesta Dissertação.

Como os agradecimentos também acabam por ser uma forma de reviver alguns momentos, queria dedicar umas palavras a algumas pessoas.

Não podia deixar de mencionar os meus amigos de infância, pois, tenho a certeza de que encararão esta conquista pessoal como se deles se tratasse.

Agradeço aos meus colegas e amigos de curso toda a amizade que me dedicaram, mesmo quando fui uma pessoa ausente.

Quero também agradecer aos amigos que fiz na AEFEUP e à própria associação de estudantes, pois sem estes teria acabado o curso três anos mais cedo. Gracejos à parte, devo a estes (principalmente, aos amigos) muitos dos bons momentos que vivi na Faculdade. E que grandes momentos!

Aos meus companheiros de casa do edifício Mimosa, quer sejam os que o são agora, quer sejam os que por aqui passaram, deixo um grande abraço.

Por fim, agradeço à minha família, principalmente, à minha mãe. Sendo esta a figura nuclear da minha vida e a patrocinadora oficial de um percurso académico um pouco extenso, não podia apenas dedicar-lhe três palavrinhas. Dedico-lhe mais quatro: Espero que estejas orgulhosa!





## **Resumo**

Após o dimensionamento das ligações, surge a questão de como é que as soluções de ancoragens serão processadas ao longo do ciclo de vida do projeto. Ou seja, questões como a escolha e o fornecimento das mesmas, a sua introdução no modelo de informações e a respetiva orçamentação são apenas alguns dos aspetos a serem considerados na implementação dessas soluções. As problemáticas que se estão a enumerar são transversão a todo o projeto. É com base neste celeuma que surgem metodologias de trabalho como o BIM, que procuram detetar e integrar o maior número de variáveis possível na fase de planeamento e projeto de uma obra.

Ora, o objetivo desta campanha é o dimensionamento de ancoragens num contexto de projeto, com base no EOTA TR029 e no prEN1992-4:2013, e procurar desenvolver formas para implementar as soluções em BIM. Assim sendo, foi realizado um estudo bastante elaborado em torno das ancoragens e do conceito BIM.

Nas ancoragens, procurou-se abordar todas as questões técnicas inerentes a estes dispositivos e dimensionar segundo os critérios das duas normas. Os resultados obtidos encontram expostos nesta dissertação, sob a forma de tabelas, e as considerações tecidas sobre este tópico encontram-se disponíveis no capítulo das conclusões.

No âmbito do BIM, procurou-se fazer um levantamento histórico sobre a evolução deste conceito, abordar de forma bastante incisiva o conceito e todas os aspetos que orbitam em trono desta questão. Por fim, elaboraram-se algumas recomendações para integração em BIM no contexto de trabalho da empresa de acolhimento, a Hilti.

**PALAVRAS-CHAVE:** ligações, ancoragens, EOTA TR029, prEN1992-4:2013, BIM



## Abstract

*After the designing of the links, there are some matters to attend such as how the solutions found for anchoring will be processed throughout the life cycle of the project. In other words, issues such as the choice and supply of these, their introduction in the information model and their budgeting are just some of the aspects to be considered in the implementation of these solutions. The problems that are being enumerated are transversal to the whole project. It is based on this turmoil that work methodologies such as BIM appear, trying to detect and integrate as many variables as possible in the planning and design phase of a work.*

*The goal of this campaign is to design anchorages in a project context, based on EOTA TR029 and prEN1992-4: 2013, and to try to develop ways to implement the solutions in BIM. Therefore, a very elaborate study was carried out around the anchorages and the BIM concept.*

*In the anchorages, it was tried to approach all the technical questions inherent to these devices and to design according to the criteria of the two norms. The results obtained are presented in this dissertation, in the form of tables, and the considerations made on this topic are available in the conclusions chapter.*

*Within the scope of the BIM, it was tried to make a historical survey on the evolution of this concept and to approach in a very incisive way the concept and all the aspects that orbit around this question. Finally, some recommendations were made for integration into BIM in the context of Hilti's work.*

**KEYWORDS:** *links, anchorages, EOTA TR029, prEN1992-4: 2013, BIM.*



## Índice Geral

Agradecimentos.....	vii
Resumo.....	ix
Abstract .....	xi
Índice Geral.....	xiii
Índice de figuras .....	xv
Índice de tabelas .....	xvii
Abreviaturas e Símbolos .....	xix
<b>1 Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento Geral.....	1
1.2 Objetivos .....	1
1.3 Estrutura da Dissertação.....	1
<b>2 Dimensionamento de ligações.....</b>	<b>3</b>
2.1 Introdução aos diferentes tipos de ligação .....	3
2.2 Tipos de ancoragens.....	4
2.3 Transferência de cargas.....	5
2.4 Dimensionamento de ancoragens.....	7
2.5 Vantagens e desvantagens do uso de ancoragens químicas ou mecânicas.....	11
2.6 Homologações das ancoragens.....	12
2.7 Ferramentas de apoio no dimensionamento de fixações .....	13
<b>3 Conceito BIM.....</b>	<b>15</b>
3.1 Surgimento do conceito BIM .....	15
3.2 Conceito BIM.....	18
3.3 Aplicações do BIM .....	19
3.4 BIM Return On Investment.....	19
3.5 Software BIM.....	20
3.6 Industry Foundation Class.....	20
3.7 Riscos para o BIM.....	21
3.8 Desafios Futuros do BIM .....	22
3.9 BIM - Modelo 3D (paramétrico).....	23
3.10 BIM – Modelo de informação .....	23
3.11 Normalização BIM.....	24
<b>4 Implementação do bim na empresa de acolhimento .....</b>	<b>27</b>
4.1 Desafios tecnológicos.....	27

4.2	Visão da empresa sobre o BIM .....	27
4.3	Integração da empresa no processo colaborativo .....	28
4.4	Serviços BIM prestados pela empresa.....	28
4.5	Benefícios esperados da integração da empresa no processo BIM .....	29
<b>5</b>	<b>Exemplo Prático.....</b>	<b>31</b>
5.1	Enquadramento.....	31
5.2	Hipóteses de dimensionamento .....	33
5.3	Dados para o cálculo .....	56
5.4	Soluções do pré-dimensionamento.....	57
5.5	Dimensionamento segundo o EOTA TR029.....	62
5.6	Dimensionamento segundo o prEN1992-4:2013 .....	67
<b>6</b>	<b>Recomendações para integração em bim .....</b>	<b>77</b>
<b>7</b>	<b>Conclusões e desenvolvimentos futuros .....</b>	<b>77</b>
7.1	Conclusão .....	77
7.2	Desenvolvimentos futuros .....	80
<b>8</b>	<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>83</b>

## Índice de figuras

Figura 2.1 – Métodos de fixação [1] .....	3
Figura 2.2 – Grupos de ancoragens [1] .....	4
Figura 2.3 – Tipos de interações desenvolvidas entre as ancoragens químicas e o material base [1].....	5
Figura 2.4 - Tipos de interações desenvolvidas entre as ancoragens mecânicas e o material base [1] ....	5
Figura 2.5 – Ancoragens plásticas e interações desenvolvidas com o material base [1] .....	5
Figura 2.6 – Transferência de carga de ancoragem de expansão [2].....	6
Figura 2.7 - Transferência de carga de ancoragem de forma [2].....	6
Figura 2.8 – Ancoragem de forma (parafuso) [3] .....	7
Figura 2.9 – Transferência de carga das ancoragens de forma [2].....	7
Figura 2.10 - Geometria de fixação recomendada para cargas à tração ou sem influência do bordo [5][6].....	9
Figura 2.11 - Cargas atuantes .....	9
Figura 2.12 - Modos de rotura associados à tração [1] .....	10
Figura 2.13 - Modos de rotura associados a forças de corte [1].....	11
Figura 2.14 - Campo de tensões resultante do tipo de ancoragens [3] .....	12
Figura 3.1 - Processo colaborativo (método tradicional) [11].....	16
Figura 3.2 - Curvas do conhecimento do projeto e liberdade do projeto [13].....	16
Figura 3.3 - Curva do impacto das decisões [13] .....	16
Figura 3.4 - Curva de esforço/efeito de MacLeamy [13] .....	17
Figura 3.5 - Return on investment (ROI) .....	19
Figura 3.6 - Level of detail.....	23
Figura 3.7 - Standards, Especificações técnicas e Guias [34] .....	24
Figura 5.1 - Fachada do edifício PNES 4A .....	31
Figura 5.2 - Detalhe da fachada .....	32
Figura 5.3 - Modelo da fachada executado no ROBOT .....	33
Figura 5.4 -Perfil IPE 330 .....	34
Figura 5.5 - Perfil PRS ( C ) 550x415x15.....	34

Figura 5.6 - Modos de rotura de uma ancoragem.....	35
Figura 5.7 - Exemplo de uma peça simulada no programa PROFIS .....	36
Figura 5.8 - Distribuição de tensões .....	36
Figura 5.9 - Cálculo dos Estados Limites Últimos .....	37
Figura 5.10 - Cálculo das tensões no regime elástico.....	37
Figura 5.11 - Exemplo de uma ETA sobre os detalhes de instalação.....	38
Figura 5.12 - Cargas atuantes na viga de betão .....	39
Figura 5.13 - Binário atuante.....	39
Figura 5.14 - Punçoamento.....	39
Figura 5.15 - Apoio indireto.....	40
Figura 5.16 - Área de influência de cálculo [6] .....	44
Figura 5.17 - Área real total de influência [6] .....	44
Figura 5.18 - Área de influência de cálculo para cone de betão [6] .....	46
Figura 5.19 - Efeito Pry-out [6] .....	47
Figura 5.20 - Área real de cálculo para o efeito Pry-out [6].....	48
Figura 5.21 - Área de influência de cálculo para a rotura de bordo [6].....	48
Figura 5.22 - Área real total de cálculo da rotura de bordo [6] .....	49
Figura 5.23 - Distribuição de forças de tração [43] .....	51
Figura 5.24 - Solução de pré-dimensionamento ancoragens referente aos perfis PRS e PRS C.....	60
Figura 5.25 - Solução de pré-dimensionamento ancoragens referente aos perfil IPE.....	61
Figura 5.26 - Armadura suplementar para cone de betão.....	73
Figura 5.27 - Solução de armaduras para a viga.....	74
Figura 5.28 - Solução de ancoragens referente aos perfis PRS e PRS C.....	75
Figura 5.29 - Solução de ancoragens referente aos perfil IPE.....	75



## Índice de tabelas

Tabela 3.1 - Lista de Software BIM.....	20
Tabela 5.1 – Esforços máximos instalados no Perfil PRS 550x415x15.....	35
Tabela 5.2 - Esforços máximos instalados no Perfil PRS ( C ) 550x415x15 .....	35
Tabela 5.3 - Esforços máximos instalados no Perfil IPE 330 .....	35
Tabela 5.4 – Diâmetros admissíveis [6] .....	41
Tabela 5.5 . Coeficientes de Segurança [5] .....	42
Tabela 5.6 – Verificações de segurança [5] .....	43
Tabela 5.7 – Coeficientes parciais de segurança [5] .....	51
Tabela 5.8 – Tabela de verificações de segurança [5].....	52
Tabela 5.9 – Verificações de segurança ao corte [5].....	55
Tabela 5.10 – Esforços máximos instalados no Perfil PRS 550x415x15.....	56
Tabela 5.11 - Esforços máximos instalados no Perfil PRS ( C ) 550x415x15 .....	56
Tabela 5.12 - Esforços máximos instalados no Perfil IPE 330 .....	56
Tabela 5.13 - Dados adicionais .....	56
Tabela 5.14 - Dimensões dos perfis .....	57
Tabela 5.15 - Soluções de pré-dimensionamento.....	58
Tabela 5.16 - Esforços de corte atuantes em cada ancoragem .....	58
Tabela 5.17 - Dados para a verificação ao corte .....	59
Tabela 5.18 - Armaduras de esforço transversal .....	59
Tabela 5.19 - Armaduras de torção .....	59
Tabela 5.20 - Armadura de punção .....	60
Tabela 5.21 - Verificação de segurança à rotura combinada de tração e corte segundo o EOTA TR029 .....	62
Tabela 5.22 - Verificação de segurança à tração e ao corte segundo o EOTA TR029 .....	62
Tabela 5.23 - Verificação de segurança à rotura combinada de corte e tração segundo o EOTA TR029 .....	63
Tabela 5.24 - Verificação de segurança à tração e ao corte segundo o EOTA TR029 .....	64

Tabela 5.25 - Verificação de segurança à rotura combinada à tração e ao corte segundo o EOTA TR029 .....	65
Tabela 5.26 - Verificação de segurança à tração e ao corte segundo o EOTA TR029.....	66
Tabela 5.27 - Verificação de segurança à rotura combinada à tração e ao corte segundo o prEN1992-4:2013 .....	67
Tabela 5.28 - Verificação de segurança à rotura à tração e ao corte segundo o prEN1992-4:2013 .....	68
Tabela 5.29 - Verificação de segurança à rotura combinada à tração e ao corte segundo o prEN1992-4:2013 .....	69
Tabela 5.30 - Verificação de segurança à rotura à tração e ao corte segundo o prEN1992-4:2013 .....	70
Tabela 5.31 - Verificação de segurança à rotura combinada à tração e ao corte segundo o prEN1992-4:2013 .....	71
Tabela 5.32 - Verificação de segurança à rotura à tração e ao corte segundo o prEN1992-4:2013 .....	72
Tabela 5.33 - Comparação de resultados segundo o prEN1992-4:2013.....	73
Tabela 5.34 - Resultados obtidos.....	74

## **Abreviaturas e Símbolos**

### **Índices**

E - efeito das ações

L - carga

M - material

N - força normal

R - resistência

V - força de corte

B - ligação (químico)

C - betão

cb - blow-out

cp - concrete pry-out

d - valor de cálculo

k - valor característico

max - máximo

min - mínimo

nom - nominal

p - arranque

re - armaduras de reforço

s - aço

sp - fendilhação

u - último

y - cedência

### **Expoentes**

$\alpha$  - expoente de interação de equações

g - carregamento ou resistência de um grupo de ancoragens

h - ancoragem mais carregada num grupo

0 - valor básico

### **Ações e resistências**

$\gamma$  - fator parcial

E - efeito de uma ação

$R$  - resistência

$F$  - força no geral

$N$  - força axial

$N_{Ed}$  - força de cálculo resultante de um grupo de ancoragens tracionadas

$F_{Rk} (N_{Rk}; V_{Rk})$  - valor característico da resistência de uma ancoragem ou de um grupo

$F_{Rd} (N_{Rd}; V_{Rd})$  - valor de cálculo da resistência de uma ancoragem ou de um grupo

$\tau_{Rk}$  - valor característico das ações a atuarem numa fixação, dependendo da classe de resistência do betão, se não está fendilhado ( $\tau_{Rk,uct}$ ) ou fendilhado ( $\tau_{Rk,cr}$ )

$F_{Ek} (N_{Ek}; V_{Ek}; M_{Ek}; T_{Ek})$  - valor característico das ações atuantes numa fixação

$F_{Ed} (N_{Ed}; V_{Ed}; M_{Ed}; T_{Ed})$  - valor de cálculo das ações a atuantes numa fixação

$N_{Ed,re}$  - valor de cálculo das tensões instaladas nas armaduras suplementares

## **Betão e aço**

$f_{bd}$  - tensão de rotura da aderência de cálculo da armadura suplementar

$f_{ck}$  - resistência à compressão característica de um cilindro (150 mm  $\times$  300 mm)

$f_{yk}$  - tensão característica de cedência do aço (nominal value)

$f_{uk}$  - tensão última do aço (nominal value)

$A_s$  - área transversal tracionada

$A_{s,re}$  - área transversal de um ramo da armadura suplementar

## **Ancoragens e reforços de ancoragens**

$a_1 (a_2)$  - espaçamento entre as ancoragens exteriores e as subjacentes

$b$  - largura do membro de betão

$c$  - distância do bordo ao eixo de uma ancoragem

$c_{cr}$  - distância ao bordo necessária para assegurar a transmissão da resistência característica de uma ancoragem

$c_{min}$  - distância ao bordo mínimo

$d$  - diâmetro do varão de uma ancoragem

$d_f$  - diâmetro de folga de uma fixação

$d_{nom}$  - diâmetro exterior de uma ancoragem

$d_s$  - diâmetro de um varão

$d_0$  - diâmetro nominal do furo

$e_1$  - distância entre a carga de corte e superfície do betão

xx - Versão de discussão

$e_N$  - excentricidade resultante das força de tração aplicadas a um grupo tracionado de ancoragens em relação ao centro de gravidade

$e_s$  - distância entre o eixo das armaduras suplementares e a força de corte

$e_v$  - excentricidade resultante das força de corte aplicadas a um grupo tracionado de ancoragens em relação ao centro de gravidade

$h$  - espessura da peça de betão onde são instaladas as ancoragens

$h_{ef}$  - altura de embebedimento efetiva

$h_{min}$  - altura mínima permitida da peça de betão

$l_{b,min}$  - comprimento mínimo da armadura suplementar

$l_1$  - comprimento de amarração dos varões da armadura suplementar se existir rotura por cone de betão

$n$  - número de ancoragens num grupo

$n_{re}$  - número de ramos de uma armadura suplementar

$s$  - espaço entre ancoragens

$s_{cr}$  - espaçamento necessário para garantir a transmissão da resistência característica de uma ancoragem

$s_{min}$  - espaçamento mínimo admissível

$z$  - “lever arm” interno de acordo com a teoria da elasticidade

## **Abreviaturas**

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

BIM – Building Information Modeling

DAE - Documento de Avaliação Europeu

EAD - European Assessment Documents

EOTA - European Organisation for Technical Assessment

ETA – European Technical Assessment

ETAG – European Technical Approval Guideline

hEN – Norma Europeia harmonizada

IAI - International Alliance for Interoperability

IDM - Information Delivery Manuals

IFC – Industry Foundation Class

IFD - International Framework Dictionary

IPD – Integrated Project Delivery

ISO - International Organization for Standardization

ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LOD – Level of Detail

OAT - Organizações de Avaliação Técnica

ROI – Return On Investment

TR – Technical Report

### **Cálculo de ancoragens no pré-dimensionamento**

$n_1$  – número de ancoragens no alinhamento mais centrado do perfil

$n_2$  – número de ancoragens no alinhamento mais abaixo do perfil

d1 – distância ao alinhamento mais centrado do perfil

d2 – distância ao alinhamento mais abaixo do perfil







# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 ENQUADRAMENTO GERA

As ancoragens constituem elos de ligação entre vários segmentos de estruturas. Estas são bastante usadas em situações em que não é possível usar outras formas de fixação, ou em casos em que a sua aplicação facilita em grande medida os trabalhos a realizar.

Por exemplo, as ancoragens são bastante usadas em operações de reabilitação. As ancoragens químicas (ou buchas químicas, como são designadas na gíria da construção) são aplicadas em elementos que se pretendem preservar (e.g. uma fachada) e podem suportar outros elementos como lajes, desde que tenham sido dimensionadas para tal. Outro exemplo da sua aplicação é caso em que não é possível realizar a ligação de outra forma (ou a sua aplicação facilita o dimensionamento e/ou a implementação), como é o caso do exemplo prático abordado nesta dissertação.

O conceito BIM é uma metodologia de partilha de informação e de comunicação entre todos os intervenientes e durante todas as fases do ciclo de vida de uma construção que se apoia num modelo digital, acessível por software o qual permite a manipulação virtual dessa mesma construção.

### 1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é o dimensionamento de ligações, mais concretamente, de ancoragens segundo o relatório EOTA TR029 e o prEN1992-4:2013. Após o dimensionamento, pretende-se comparar as implicações de uso de cada norma.

Concluída a fase de dimensionamento, o próximo passo é o desenvolvimento de soluções para integração em BIM no contexto de trabalho da empresa de acolhimento, a Hilti.

### 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está dividida em N capítulos, onde serão expostas todas as matérias que se pretendem abordar.

No segundo capítulo explanam-se todos os aspetos relacionados com as ancoragens. Questões como a sua tipologia, as propriedades mecânicas e modos de rotura, e, até, a sua conformidade com as normas de qualidade exigidas, são dissecadas ao longo deste capítulo.

No terceiro capítulo apresenta-se todo o conceito BIM, assim como a sua evolução histórica, ferramentas de trabalho, e referem-se os potenciais riscos e desafios que esta metodologia terá de enfrentar.

No quarto capítulo procurou-se fazer uma descrição do nível de integração em BIM da empresa de acolhimento, e também explicar a sua estratégia BIM a implementar no futuro.

O quinto capítulo é apresentado o dimensionamento das ligações da fachada do edifício, com base no relatório EOTA TR029 e o prEN1992-4:2013.

No sexto capítulo enumeram-se as recomendações para integração em BIM das ancoragens.

No sétimo e último capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho e os desenvolvimentos futuros.

## 2

## DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES

### 2.1 INTRODUÇÃO AOS DIFERENTES TIPOS DE LIGAÇÃO

O dimensionamento de ligações (aço-betão) deverá contemplar a solução que melhor se adequa ao caso em questão. Estas dividem-se em dois grandes grupos de soluções: pré-embebidas ou instaladas à posteriori (ver Figura 2.1 – Métodos de fixação[1]).

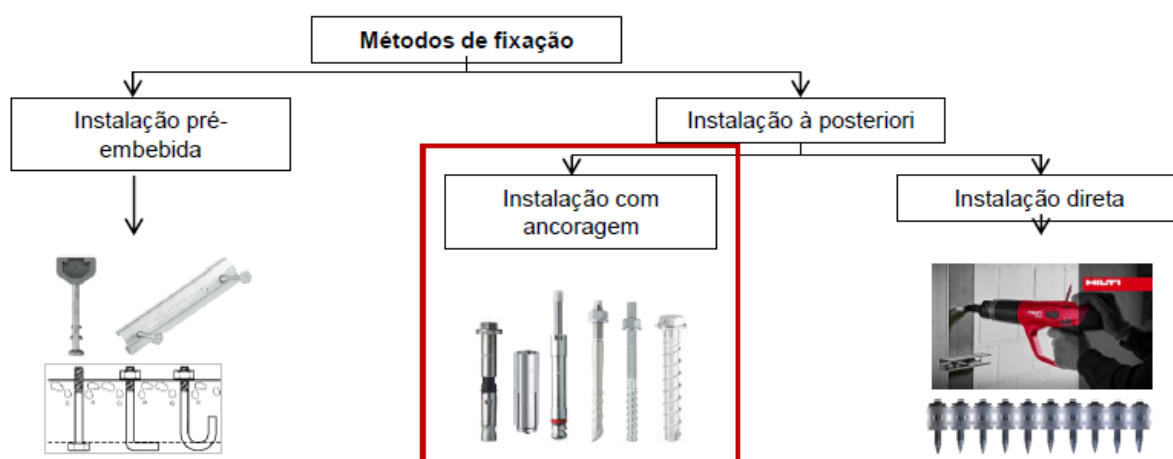


Figura 2.1 – Métodos de fixação [1]

As primeiras são aplicáveis quando estamos perante uma construção, ou seja, quando temos de erguer uma estrutura de betão de raiz (e.g. pilares, paredes de betão, lajes, etc.). Neste caso abre-se a possibilidade de, durante a execução da peça, ser integrado um elemento que permita fazer a ligação com outros elementos da estrutura. A título de exemplo temos a gama de Ancoragens Cast-In da Hilti.

Já no grupo de soluções colocadas à posteriori temos dois subgrupos (ou duas categorias): instalação com ancoragens e instalação direta.

Numa breve explicação, as soluções de instalação direta consistem na cravação de pregos ou cavilhas com recurso a uma máquina de fixação (e.g. pistola de pregos). É recomendável que este tipo de soluções seja aplicado em casos sujeitos a cargas predominantemente estáticas e só quando estas são de corte, tração ou de ação combinada.

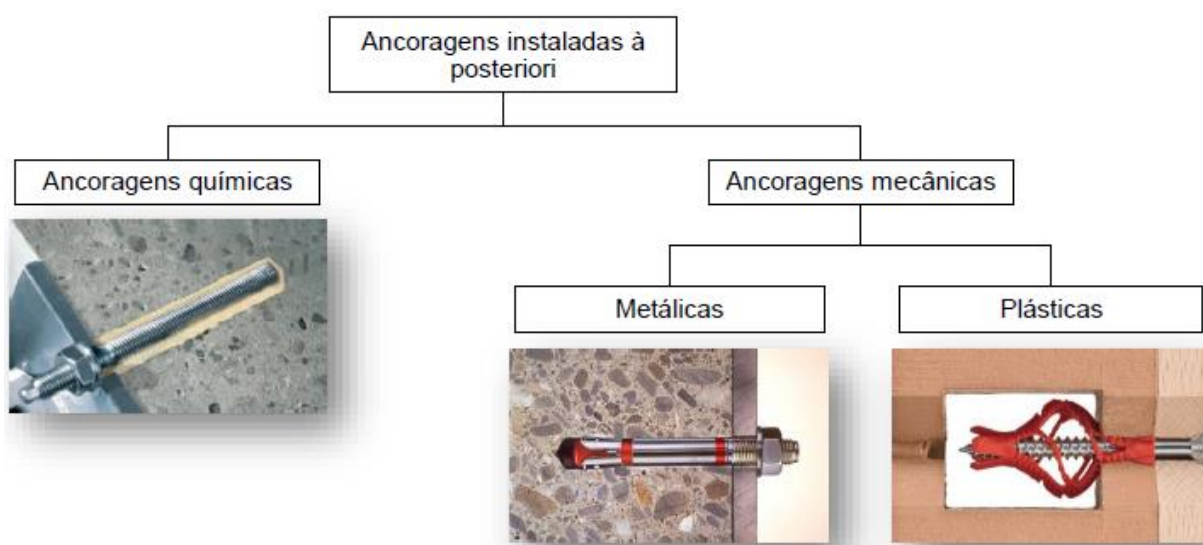


Figura 2.2 – Grupos de ancoragens [1]

No que à instalação com ancoragens diz respeito, podemos afirmar que se trata de um “elemento pós-instalado, tipicamente de secção circular, com um determinado embebimento e que promove a transferência de cargas do elemento a fixar para o material base”. As aplicações das ancoragens são inúmeras e abrangem situações como: reforço de pontes e pilares; fixação de barreiras de segurança ou acústicas; fixação de vigas, pilares, tirantes ou equipamentos de climatização.

As ancoragens podem ser químicas ou mecânicas (e dentro desta gama, metálicas ou plásticas) e a sua aplicação está condicionada pelo material base, cargas atuantes, meio ambiente e geometria da aplicação (ver Figura 2.2 – Grupos de ancoragens).

É importante salientar a verificação da homologação necessária para a aplicação de quaisquer dispositivos de fixação, nomeadamente das ancoragens, e a leitura cuidada da ficha técnica destes mesmos elementos de ligação. Adiante reserva-se uma explicação sobre este tema.

## 2.2 TIPOS DE ANCORAGENS

As ancoragens podem dividir-se em químicas ou mecânicas, sendo que nesta última categoria existem ancoragens mecânicas do tipo metálicas ou plásticas [1].

Começando pelas ancoragens químicas, estas são uma combinação de uma resina química (cartucho ou ampola) e um varão metálico. Podem desenvolver três tipos de interação com o material base e o varão: aderência, aderência-expansão e forma (ver Figura 2.3 – Tipos de interações desenvolvidas entre as ancoragens químicas e o material base).

Já as ancoragens mecânicas metálicas são fixas ao material base através de dois mecanismos de transferência de carga: expansão ou corte interior (ver Figura 2.4 - Tipos de interações desenvolvidas entre as ancoragens mecânicas e o material base). As ancoragens de expansão metálicas podem ser fixas por um cone de deslocamento ou por um binário de aperto. Quanto às ancoragens metálicas de corte interior, estas usam como mecanismo de transferência de carga um bloqueio mecânico. Neste último caso, as ancoragens podem ser de “corte interior” (passa-se a redundância) ou ancoragens por parafuso.

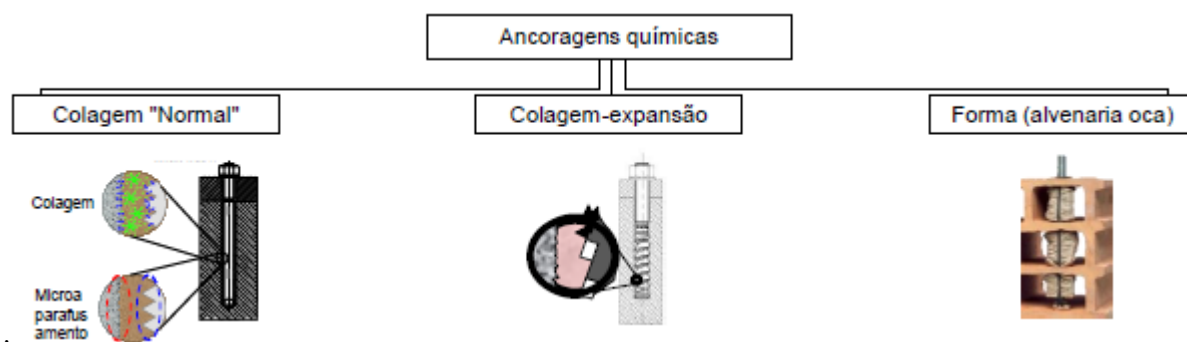


Figura 2.3 – Tipos de interações desenvolvidas entre as ancoragens químicas e o material base [1]

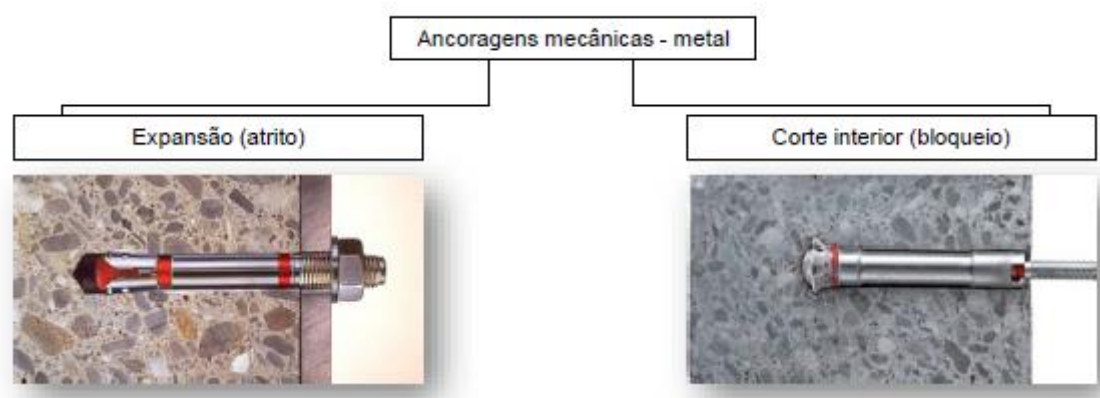


Figura 2.4 - Tipos de interações desenvolvidas entre as ancoragens mecânicas e o material base [1]

Na categoria das ancoragens plásticas (“buchas com parafuso”) a transferência da carga dá-se por expansão ou efeito de forma. Estes são apenas os dois tipos de ancoragens plásticas que existem.

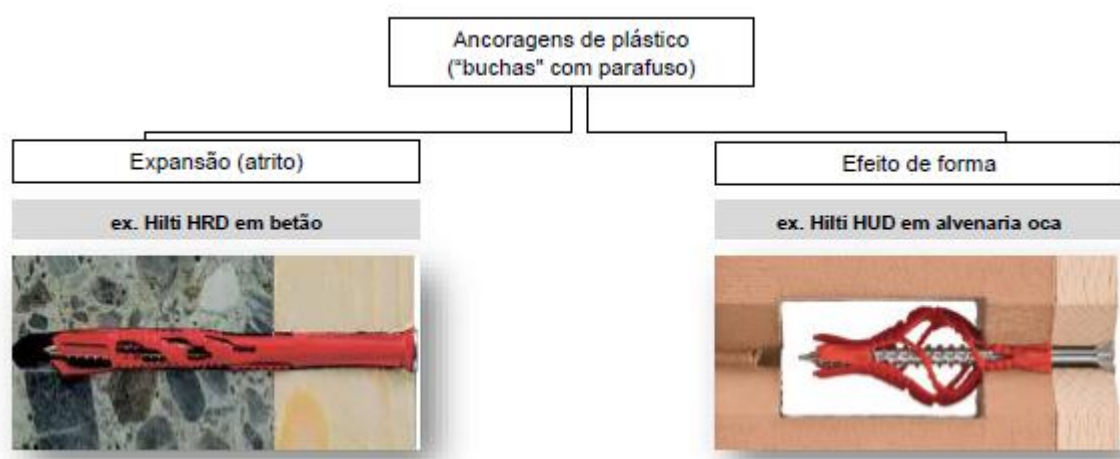


Figura 2.5 – Ancoragens plásticas e interações desenvolvidas com o material base [1]

## 2.3 TRANSFERÊNCIA DE CARGAS

Pretende-se neste tópico abordar cada um dos conceitos de transferência de carga para que, mais à frente, seja facilmente perceptível as implicações que cada tipo de interação entre a ancoragem e o material base

tem no dimensionamento das fixações. No tópico anterior, é bastante notório que existem essencialmente três formas de transferência de carga das ancoragens para o material base, e são designadamente: expansão, forma e aderência[2].

Quando a ancoragem é de expansão, seja esta metálica ou plástica, a força de tração é contrariada pela força de atrito que se desenvolve entre a ancoragem e o material base que a envolve. Por sua vez, esta força de atrito é resultante de forças de expansão geradas pelo deslocamento de um cone sob os segmentos de expansão (ver Figura 2.6 – Transferência de carga de ancoragem de expansão). A título de curiosidade, algumas ancoragem são acionadas através de um binário de aperto e outras através da aplicação de uma força na direção da ancoragem (cone de deslocamento)[3].

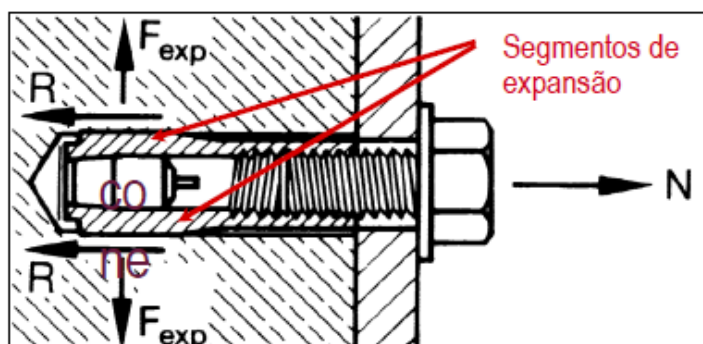


Figura 2.6 – Transferência de carga de ancoragem de expansão [2]

Nas ancoragens de forma, a transferência de carga é feita através da criação de uma forma entre a ancoragem e o material base. É assim chamado de efeito forma. Desta maneira, as forças de compressão atuantes no material base servem como reação à força de tração aplicada na ancoragem. Este mecanismo de transferência de carga é passível de ser encontrado nos três tipos de ancoragem (mecânicas, plásticas ou químicas). É de notar que, geralmente, as ancoragens de forma têm o mesmo princípio de funcionamento de uma ancoragem clássica de corte interior (metálica), ou seja, as forças de compressão estão concentradas na zona onde a forma da ancoragem “bloqueia” o deslocamento da mesma. No entanto, dentro desta categoria, existem também ancoragens por parafuso que vão transmitindo a força de tração para o material base ao longo do seu comprimento, gerando assim um campo de tensões em forma de bolbo (ver Figura 2.8 – Ancoragem de forma (parafuso)) [3].

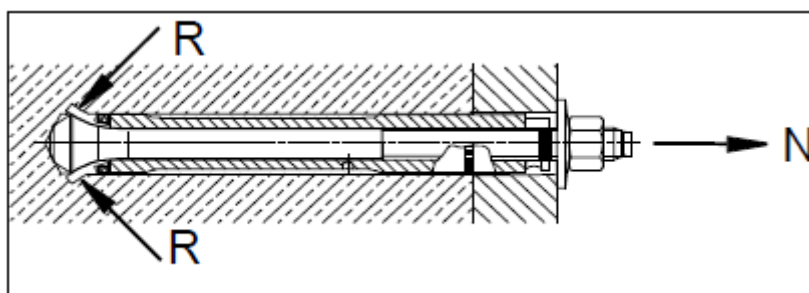


Figura 2.7 - Transferência de carga de ancoragem de forma [2]

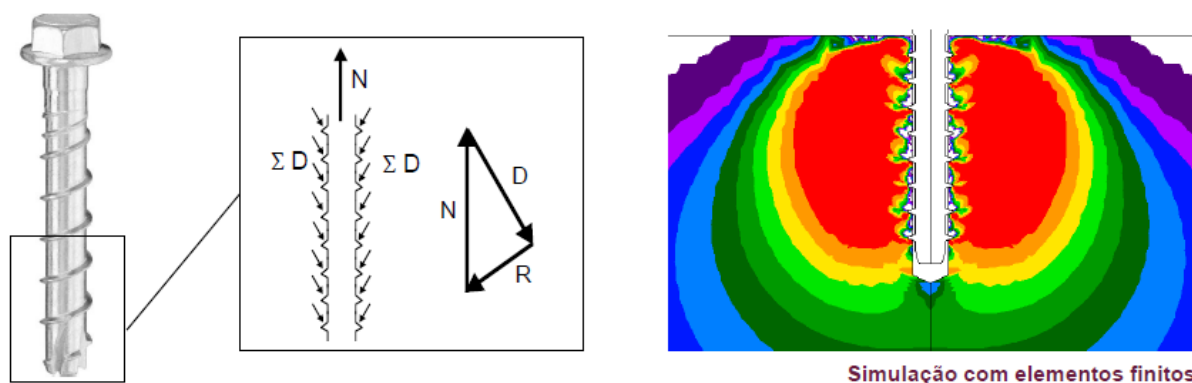


Figura 2.8 – Ancoragem de forma (parafuso) [3]

A aderência é uma propriedade exclusiva das ancoragens químicas e deve-se, precisamente, à resina química usada nas mesmas. Este efeito é devido às forças resultantes da interação do químico e as paredes do furo. Segue o mesmo princípio a ligação estabelecida entre o químico e o elemento metálico. É desta forma que a força de tração aplicada na ancoragem é transmitida para o material base [3].

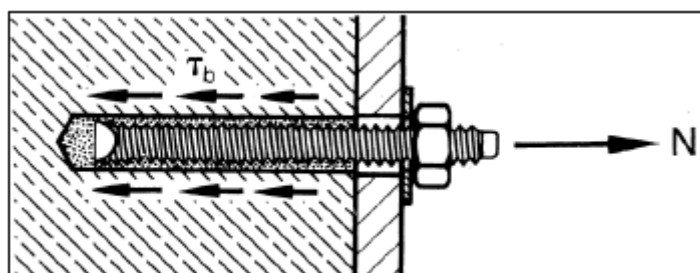


Figura 2.9 – Transferência de carga das ancoragens de forma [2]

## 2.4 DIMENSIONAMENTO DE ANCORAGENS

### 2.4.1 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

Num breve enquadramento histórico sobre dimensionamento de ancoragens, temos que o primeiro manual de dimensionamento foi lançado mundialmente pela Hilti, em 1982, e chamava-se “Handbuch der befestigungstechnik: Anker-und dübelmontage” - Manual de técnica de fixação: Montagem de ancoragens e buchas [2].

Mais tarde, em 1989, foi criada a Organização Europeia de Avaliação Técnica (EOTA - European Organisation for Technical Assessment) na área dos materiais de construção. Esta organização sem fins lucrativos, através da experiência tecnológica e científica dos seus membros, desenvolve e adota Documentos de Avaliação Europeus (EAD - European Assessment Documents). É também responsável por assegurar que exemplos de boas práticas são partilhados entre os seus membros, de modo a promover uma maior eficiência da indústria da construção, e que os EAD e Avaliações Técnicas Europeias (ETA – European Technical Assessment) são mantidos públicos[4].

Em 1997, a EOTA lança a primeira norma europeia para o dimensionamento de ancoragens, o ETAG 001, que define o dimensionamento de ancoragens metálicas para o uso em betão.

#### 2.4.2 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES

Atualmente, os métodos para o dimensionamento de ancoragens químicas e metálicas são, respetivamente, o TR 029 (TR – Technical Report) e o ETAG 001 Annex C (ETAG – European Technical Approval Guideline). Existe também um rascunho do Eurocódigo 2: Design of concrete structures – Parte 4: Design of fastenings for use in concrete, adiante designado como prEN1992-4:2013. Nesta norma europeia estará definido o método de dimensionamento de fixações (ligações de elementos estruturais e não estruturais a elementos estruturais), que serão usadas para transmitir ações ao betão. Os tipos de fixação abrangidos pelo prEN1992-4:2013 são os fixadores cast-in, fixadores posteriormente instalados mecânicos e ancoragens químicas posteriormente instaladas.

Essencialmente, as normas de dimensionamento dos diferentes tipos de fixações (pelo menos, no que as ancoragens químicas e metálicas dizem respeito) estão vertidas no prEN1992-4:2013 com algumas alterações e mais algumas considerações. Sem entrar em muitos detalhes, pois mais adiante reserva-se um capítulo onde serão aprofundadas com mais detalhe as diferenças entre as diferentes normas, a metodologia de dimensionamento é muito parecida. De um modo geral, tanto nas normas correntemente utilizadas como no prEN1992-4:2013 são consagrados os mesmos modos de rotura, as mesmas disposições construtivas para prevenir essas situações e os mesmos princípios de dimensionamento. Porém, é de notar que, por exemplo, as resistências mobilizadas podem ser calculadas com coeficientes parciais de segurança diferentes ou, até mesmo, com expressões de cálculo ligeiramente alteradas ou mesmo díspares. Ainda dentro dos modos de rotura, o prEN1992-4:2013 considera mais um modo do que as normas disponíveis, o chamado “Blow-out failure”[5]. Há, também, outras considerações assinaladas pelo prEN1992-4:2013, como por exemplo: o dimensionamento de armaduras suplementares, assim como os respetivos modos de rotura; a fadiga que, apesar de ser referida nas atuais normas, no prEN1992-4:2013 é tratado com mais cuidado e, por sua vez, descrito um método de dimensionamento que permita acautelar tal fenómeno; as ações sísmicas, que à semelhança do fenómeno da fadiga também não eram devidamente tratadas nas normas acima referidas (nem tão pouco previstas nas mesmas); um conjunto de anexos que detalha algumas disposições construtivas ou colmatam as mesmas. Em suma, pode-se afirmar com relativa segurança que as atuais metodologias de dimensionamento apenas abordam um conjunto específico de fixações e prescrevem soluções para um conjunto limitado de situações, ao contrário do prEN1992-4:2013, que será uma norma que compila as metodologias de várias fixações (após a respetiva revisão), introduzindo mais rigor e mais fatores no dimensionamento.

#### 2.4.3 MATERIAL BASE

Numa primeira fase, deve-se atentar ao tipo de material base e ao nível da carga a que a ancoragem ou o grupo de ancoragens estarão sujeitos. Por exemplo, uma ancoragem plástica é, praticamente, aplicável em todos os tipos de materiais base, no entanto, só suporta cargas ligeiras. Para mais informações recomenda-se a leitura atenta da respetiva ETA.

#### 2.4.4 GEOMETRIA DA SOLUÇÃO DE ANCORAGENS

Outro parâmetro a atender no dimensionamento de ancoragens é a geometria da sua aplicação. Tanto nas atuais normas como no prEN1992-4:2013 são definidas algumas soluções a adotar para situações em que as mesmas sejam solicitadas à tração ou ao corte (Figura 2.10 - Geometria de fixação recomendada para cargas à tração ou sem influência do bordo) [6][7]. Contudo, é admissível a adoção de outros padrões que não os indicados, desde que estes sejam escolhidos com base em critérios de engenharia aplicáveis aos casos em análise. É de salientar que situações correntes requerem uma maior flexibilidade na escolha das geometrias de fixação, facto que não passou despercebido a alguns



fabricantes. Para esse efeito, a empresa de acolhimento desenvolveu o método SOFA (Solutions for FAsTenings). O método em questão segue a metodologia de cálculo definida no ETAG, sendo que todas as extensões ao método são verificadas com ensaios laboratoriais. A liberdade de escolha é total desde que: sejam usadas ancoragens Hilti devidamente testadas; seja aplicado o preenchimento do furo na chapa ou elemento a fixar; as ancoragens possuam a devida homologação.

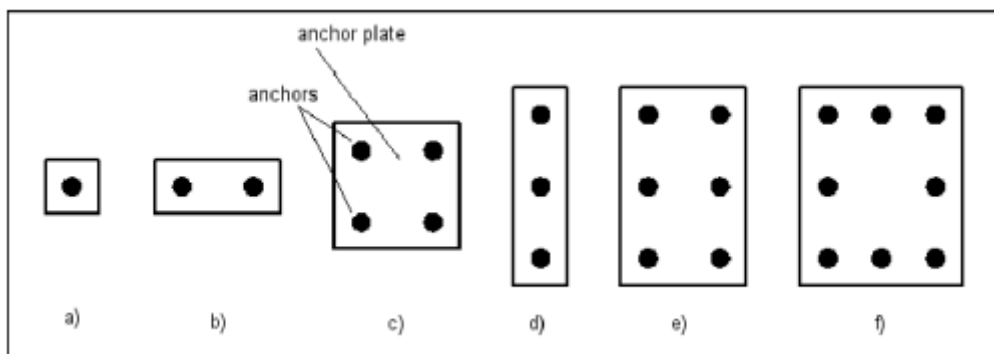


Figura 2.10 - Geometria de fixação recomendada para cargas à tração ou sem influência do bordo [5][6]

#### 2.4.5 CARGAS ATUANTES

Relativamente às cargas que solicitarão as ancoragens, os diferentes métodos de consideram que as mesmas poderão ser solicitadas à tração, corte, ação combinada de corte e tração, e por um momento torsor. Poderá em qualquer um dos casos referidos anteriormente existir um “lever arm” (espaço, entre a chapa de fixação e o betão, oco ou preenchido com uma camada que tenha uma força de compressão  $30 \text{ N/mm}^2$  e uma espessura igual ou inferior a  $d/2$ ,  $d$  – diâmetro da ancoragem), portanto, é necessário avaliar as implicações que isso terá no dimensionamento. A Figura 2.11 - Cargas atuantes ilustra os casos supracitados. Por último, e por razões óbvias, é importante mencionar que independentemente dos casos de carga que solicitem as fixações, estes não devem exceder as resistências mecânicas dos materiais e, por sua vez, os valores definidos nos diferentes métodos de cálculo.

Como mencionado anteriormente, os métodos podem contemplar fatores como fadiga, choque e cargas sísmicas. Se tal acontecer, é recomendável que se selecione o tipo de fixação de acordo com as disposições referidas no método.

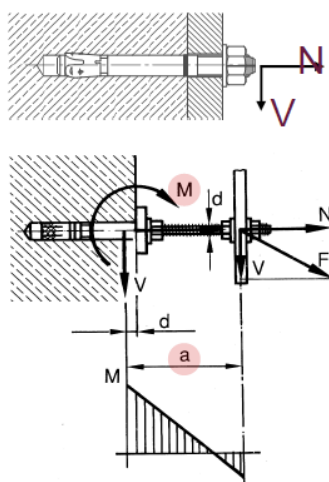


Figura 2.11 - Cargas atuantes

#### 2.4.6 MODOS DE ROTURA

O não respeito dos parâmetros anteriormente expostos, pelo menos no que concerne ao dimensionamento, pode culminar na rotura tanto do material base como da ancoragem e no consequente colapso da estrutura. Tendo em conta o exposto, importa agora perceber quais são os modos de rotura que podem acometer uma fixação. Basicamente, os modos de rotura são causados devido à tração, ao corte ou à combinação das duas ações e, como referido anteriormente, podem ocorrer no aço ou no betão. Assim sendo, são caracterizadas como roturas à tração todas e quaisquer situações em que se verifique um dos seguintes casos: (mais uma vez) rotura no aço; cone de betão; arranque; fendilharão; “Blow-out failure” (mencionado no prEN1992-4:2013). No caso das roturas por corte serão: corte puro do aço; flexão do aço; cedência do bordo; “pry-out” (efeito alavanca).

Neste paragrafo, aproveita-se para fazer uma breve explicação sobre como ocorrem cada uma destas falhas. Começando pelas roturas à tração, quando:

- A carga aplicada excede a resistência à tração do aço dá-se, então, a rotura no mesmo;
- Há ocorrência de arranque da ancoragem (“Pull-Out”) deve-se à má qualidade do material base ou a um mau dimensionamento da fixação;
- Existe um destacamento do betão em forma de cone, é sinal de que ou a geometria das fixações adotada não é a mais adequada, ou a ancoragem foi instalada a profundidade insuficiente, ou o material base não tem volume suficiente para absorver a carga. É chamada rotura por cone de betão (“Concrete cone failure”).
- Ocorre fissuração (“Splitting failure”) do material base ao longo de um plano que contem o eixo da ancoragem significa que a profundidade da ancoragem é excessiva ou a espessura do material base não é a mais ajustada; e por último,
- Há fragmentação do betão na face lateral da peça ao nível da cabeça da ancoragem, sem causar grandes danos na superfície da peça de betão é sinal de que estamos perante um “Blow-Out failure”. Este fenómeno é apenas mencionado no prEN1992-4:2013 e é descrito como sendo consequência do uso de ancoragens com um recobrimento lateral insuficiente e elevado embebedimento.

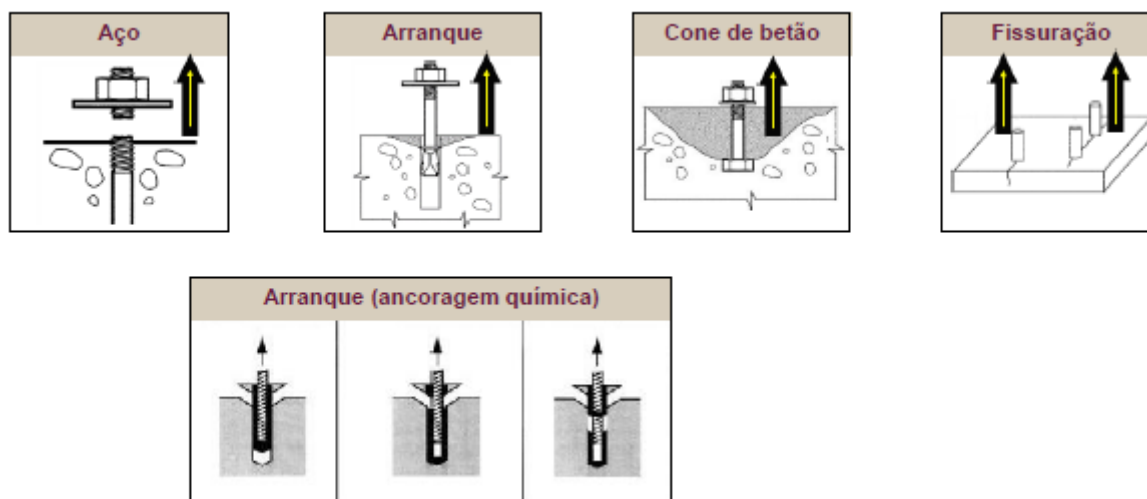


Figura 2.12 - Modos de rotura associados à tração [1]

Destacam-se os seguintes modos de rotura devido ao corte:

- Corte puro do aço, quando a carga de corte aplicada na fixação excede os parâmetros da resistência ao corte do aço;
- Flexão do aço, no caso de existir espaço sob a chapa de fixação (“lever arma”).
- No caso de existência de bordo, pode ocorrer a cedência deste. É necessário avaliar a proximidade das ancoragens ao bordo para que se possa perceber se é um fator desprezável ou não;
- “Pry-Out failure” ou efeito alavanca. Esta rotura manifesta-se através da formação de uma “cova” no betão no sentido contrário ao carregamento por corte. Pode ser consequência de uma baixa resistência à rotura por cone de betão ou a uma baixa profundidade de embebedimento.

Após a validação da resistência ao corte e à tração, individualmente, é necessário avaliar a ação combinada dessas duas ações. Para esse feito, estão disponíveis dois métodos, um mais conservativo e outro mais realista. Adiante, no exemplo prático de dimensionamento, será tratado com mais detalhe esta parte.

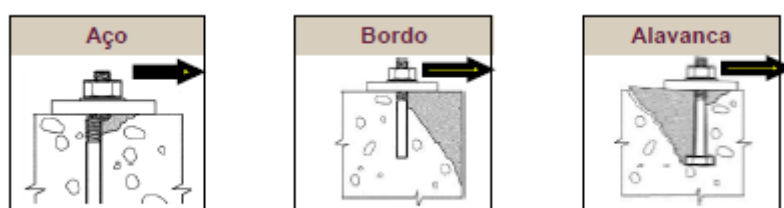


Figura 2.13 - Modos de rotura associados a forças de corte [1]

## 2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE ANCORAGENS QUÍMICAS OU MECÂNICAS

Neste tópico pretende-se confrontar as qualidades práticas das ancoragens mecânicas e químicas [3]. Analisando os traços gerais de cada tipo de ancoragem, pode observar-se no caso das ancoragens mecânicas as seguintes qualidades:

- Obtenção da capacidade total no instante imediatamente a seguir à instalação;
- Diferentes ancoragens para diferentes níveis de corrosão;
- São de armazenamento ilimitado.

No entanto:

- Requerem significativamente maiores afastamentos em relação a bordos e a ancoragens, quando comparados com ancoragens químicas (ver Figura 2.14 - Campo de tensões resultante do tipo de ancoragens);
- São mais propensas à corrosão quando inseridas em furos com presença de água;
- Geralmente, o embebedimento é função do diâmetro.

Já as ancoragens químicas oferecem possuem as seguintes qualidades:

- Exibem um bom desempenho para qualquer nível de carga;
- Requerem menores distâncias em relação a bordos e ancoragens;
- Flexibilidade nos elementos a fixar (dimensões, resistência à corrosão)
- Impedem a penetração da água, uma vez que o furo é totalmente preenchido;
- Flexibilidade de aplicação em diferentes tipos de materiais base.

Contudo:

- A capacidade de carga é obtida gradualmente ao longo do tempo;
- Perecem com o tempo.

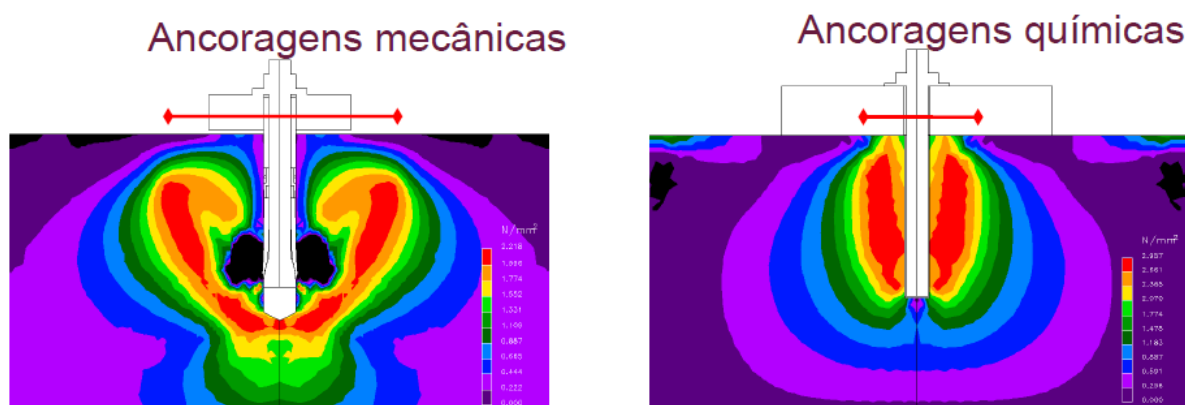


Figura 2.14 - Campo de tensões resultante do tipo de ancoragens [3]

## 2.6 HOMOLOGAÇÕES DAS ANCORAGENS

O Regulamento (UE) N° 305/2011[8], que estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção, é onde estão definidos um conjunto de passos para a obtenção da marcação CE. Esta marca constitui uma garantia de que os produtos colocados no mercado seguem os padrões das normas europeias e, conseqüentemente, uma boa aceitação em todos as obras e o aval junto das entidades fiscalizadoras.

Para tal, está estabelecido no regulamento que, caso um produto seja abrangido parcial ou totalmente por uma norma harmonizada, o fabricante deve emitir uma declaração de desempenho e proceder à subsequente aposição da marcação CE. No entanto, o produto pode não ser abrangido por nenhuma norma harmonizada, quer seja total ou parcialmente. Nessa situação, o fabricante deverá apresentar um pedido de Avaliação Técnica Europeia em países onde existam Organizações de Avaliação Técnica (OAT). Em Portugal existem duas e são o LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) e o ITeCons (Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade)[9]. Na sequência do pedido realizado pelo fabricante, é elaborado e aprovado pela organização dos OAT um Documento de Avaliação Europeu (DAE) para qualquer produto de construção não abrangido por normas de harmonização que servirá como base para a emissão de uma Avaliação Técnica Europeia (ATE). Após esta fase, o fabricante poderá, então, emitir uma declaração de desempenho e proceder à aposição da marcação CE.

Um DAE deverá conter:

- Uma descrição geral do produto de construção e sua utilização prevista;
- A lista de características essenciais relevantes para o uso pretendido; e
- Métodos e critérios para avaliar o desempenho do produto;
- Princípios para o controle de produção da fábrica aplicável.

Um ATE pode ser emitido quando:

- O produto de construção não é total ou parcialmente abrangido por qualquer norma europeia harmonizada (hEN) e
- Os métodos e critérios de avaliação são estabelecidos num Documento de Avaliação Europeu (DAE).
- E deverá conter:
  - Os contactos do fabricante;
  - O produto (nome da marca) e o uso pretendido;
  - A fábrica (codificada ou os detalhes de contacto);
  - Detalhes do programa de avaliação e desempenho e do produto

## **2.7 FERRAMENTAS DE APOIO NO DIMENSIONAMENTO DE FIXAÇÕES**

A Hilti lançou dois softwares para o dimensionamento de ancoragens: PROFIS Anchor e o PROFIS Engeneering.

Relativamente ao PROFIS Anchor, o software inclui o método SOFA, desenvolvido pela Hilti para a definição de geometrias de fixação, que projeta em segurança configurações complexas que não estão incluídas em códigos internacionais. Tem também a vantagem de projetar fixações de acordo com várias normas internacionais.

Já o PROFIS Engeneering, além de servir o mesmo propósito que o Anchor, tem a vantagem de poder exportar modelos CAD e BIM de ligações de ancoragens. Algo que será alvo de estudo desta tese de mestrado.



# 3

## CONCEITO BIM

### 3.1 SURGIMENTO DO CONCEITO BIM

#### 3.1.1 MOTIVAÇÃO

A indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC) tem procurado técnicas para diminuir o custo do projeto, aumentar a produtividade e qualidade, aplicar práticas sustentáveis e reduzir o tempo de entrega [10]. No entanto, há algumas especificidades desta indústria que poderão servir como obstáculo à persecução destes objetivos. Enumeram-se de seguida algumas dessas características:

- A AEC é ainda um setor que tem pouco carácter industrial, pois cada atividade tem um perfil único, não repetido, com intervenientes à partida desconhecidos;
- Em geral as relações entre os intervenientes não são pacíficas, cada interveniente procura aumentar a sua influência, protegendo a sua atividade em detrimento dos seus parceiros; acresce ainda
- Uma fraca comunicação entre os mesmos devido, essencialmente, à dimensão das operações, à complexidade e diversidade de regras e normas, à diversidade de materiais e tecnologias alternativas;
- Está generalizada uma falsa noção de simplicidade nesta indústria, baixo nível tecnológico dos trabalhos e dos intervenientes, salvo algumas realizações de carácter mais mediático.
- Curva de aprendizagem lenta: além da natural complexidade do software BIM e das múltiplas opções que este apresenta, talvez seja na alteração de conceitos e no novo modo de olhar para o modelo, que se exige mais investimento pessoal [11].

Para que seja possível alcançar o desígnio da indústria AEC e mitigar ou até superar os aspetos supracitados, é necessário a adoção de uma plataforma (compromisso) de trabalho transversal a toda a linha desta atividade. Só assim, será possível uma convergência mais serena das várias competências envolvidas nas diferentes atividades, permitindo, entre outras coisas, um melhor planeamento das operações e soluções a executar, a deteção prévia de erros em todas as fases do ciclo de uma construção e, com isto, atingir os benefícios que daqui decorrem, nomeadamente, a poupança de recursos, cumprimento de prazos e, por último, contenção de custos e maximização de lucros.

Foram-se desenvolvendo algumas relações contratuais ou metodologias de trabalho que, gradualmente, aproximavam-se desses princípios. Além dos contratos “tradicional” e conceção/construção, que têm, respetivamente, uma maior tendência para o surgimento de erros e omissões e pouca margem para introdução de alterações por parte do proprietário, há também o processo colaborativo e o modelo de partilha de risco[12].

O processo colaborativo, que essencialmente coloca os diferentes intervenientes no mesmo plano de comunicação e decisão, é mais propício a erros de projeto[13]. Nesta metodologia de trabalho é bastante comum o surgimento de situações muito morosas, de grande desorganização dos trabalhos, falhas de comunicação e de partilha de informação (ver Figura 3.1 - Processo colaborativo (método tradicional)).

Quanto ao modelo de partilha de risco, este adota uma estrutura parecida ao do contrato “tradicional”, porém, há integração do empreiteiro na fase de projeto e a partilha da responsabilidade nas derrapagens de custos com o Dono de Obra. A aplicação deste modelo permite-nos retirar algumas conclusões. No abstrato, consegue-se perceber com alguma facilidade o argumento de que num projeto é necessário dar algum tempo para que os vários intervenientes tenham domínio de todos os seus detalhes. Ou seja, desde a fase concetual até à fase de maior detalhe, todos os intervenientes vão, gradualmente, adquirindo mais conhecimento e domínio de todos os pormenores do projeto. Se de alguma forma fosse possível dominar o conhecimento do projeto em fases mais incipientes, (e.g. na fase concetual) qualquer decisão que seja tomada durante essa fase teria um impacto mais significativo do que em fases mais avançadas. Pode-se acrescentar que os recursos mobilizados para implementar essas decisões seriam menores[14].

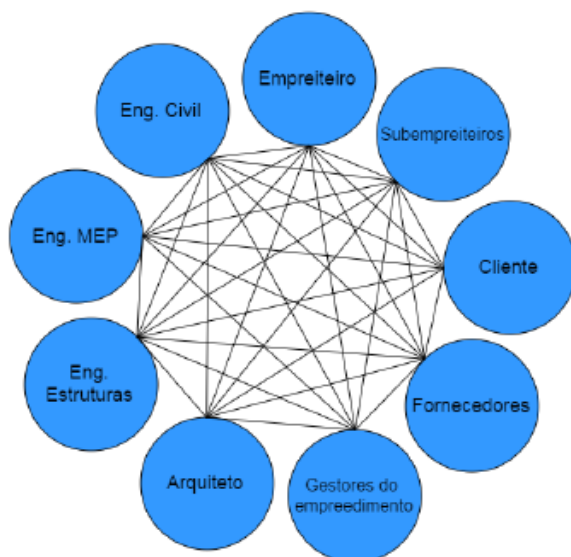


Figura 3.1 - Processo colaborativo (método tradicional) [11]

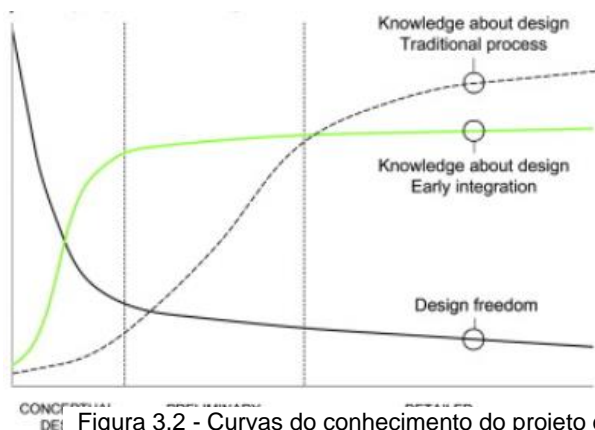


Figura 3.2 - Curvas do conhecimento do projeto e liberdade do projeto [13]

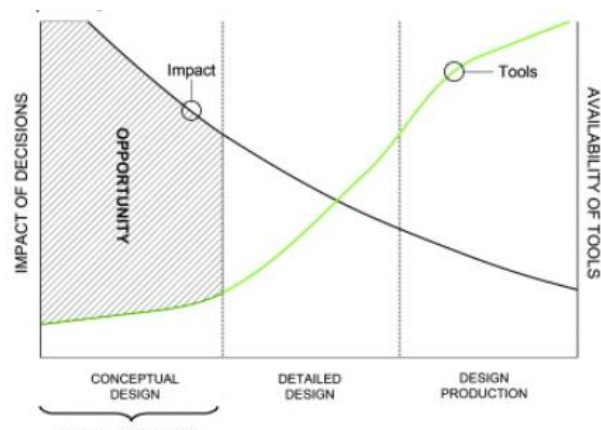


Figura 3.3 - Curva do impacto das decisões [13]



MacLeamy faz uma demonstração gráfica do princípio anteriormente exposto, mas inserido no ciclo de vida de um edifício (ver Figura 3.4 - Curva de esforço/efeito de MacLeamy). Por último, podemos concluir que, quanto mais antecipadas forem as tomadas de decisões, mais atempadas serão as detecções de erros e mais otimizados serão os processos.

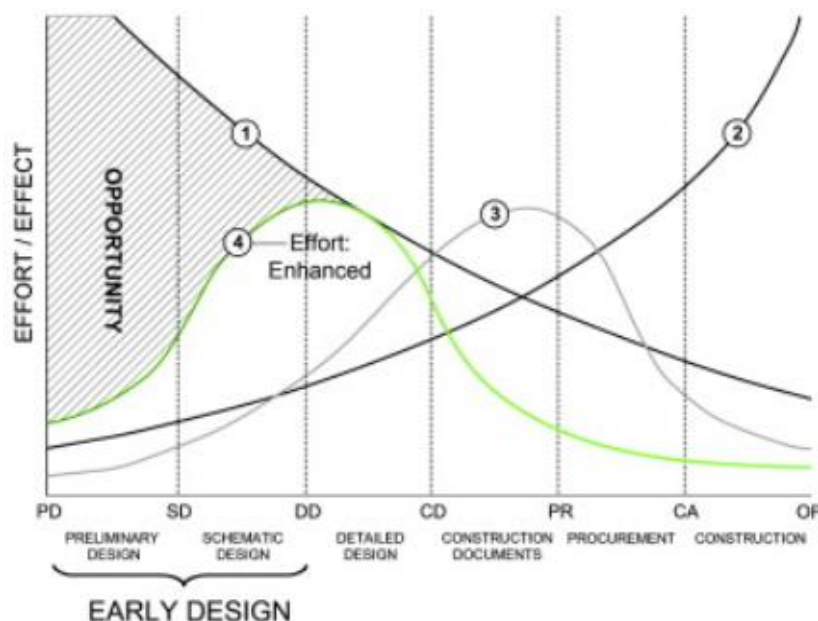


Figura 3.4 - Curva de esforço/efeito de MacLeamy [13]

### 3.1.2 INTEGRATED PROJECT DELIVERY

É com base nestes pressupostos que surge um conceito chamado Integrated Project Delivery (IPD). O IPD é uma abordagem aos projetos que integra pessoas, sistemas, estruturas de negócios e diferentes práticas num processo colaborativo que aproveita os talentos e experiências de todos os participantes para otimizar os resultados do projeto, aumentar o valor para o proprietário, reduzir o desperdício e aumentar a eficiência ao longo de todas as fases do projeto [12]. No contexto da indústria AEC, novos paradigmas de trabalho e colaboração, como o IPD, têm ganho algum destaque nos últimos tempos devido, principalmente, à evolução tecnológica associada à crescente procura por parte dos proprietários de processos que resultem em projetos melhores, mais rápidos e menos dispendiosos. A metodologia IPD reúne contributos de conhecimentos e experiências em fases primárias do projeto com recurso a novas tecnologias, permitindo a todos os membros participantes compreenderem melhor o seu potencial, aumentando o valor que acrescentam ao longo do ciclo de vida do projeto. Para tal, este modelo assenta em princípios como o da confiança, transparência, colaboração, partilha de informação sem restrições, interesse da equipa no sucesso do projeto, partilha do risco e da recompensa e utilização de todas as capacidades tecnológicas. Há, no entanto, alguma inércia na implementação deste modelo. Destacam-se essencialmente três fatores:

- A falta de confiança entre os intervenientes;
- Necessidade de tecnologia que permita que permita realizar num único modelo toda a construção virtual integrada;
- Questões de responsabilização e direitos de propriedade intelectual no modelo.

### 3.1.3 CONSTRUÇÃO LEAN

Há também outro modelo de gestão que complementa o IPD, é o chamado construção LEAN. Lean refere-se a uma metodologia mais dedicada à produção em massa, que instiga o aumento da eficiência e da produtividade dos trabalhos para otimizar o fluxo de produção. Nesta filosofia considera-se desperdício todo e qualquer recurso utilizado para fins que não a criação de valor, e aposta, portanto, na sua remoção (tanto quanto possível). A otimização do fluxo de trabalho passa em grande parte pela automação de processos e pelo ajuste no momento certo das necessidades de produção, o que significa que a produção é controlada pela necessidade [15]. O termo “construção LEAN” [16] surge precisamente da adaptação das ideias LEAN a este setor. O setor da construção geralmente está associado a um elevado grau de incerteza quando comparado com outros setores. Tal facto deve-se à variabilidade das circunstâncias específicas a cada obra e da interdependência com um grande número de intervenientes. São precisamente a incerteza e o carácter singular de cada projeto e obra que obrigam a adoção de uma abordagem para a “construção LEAN” um pouco diferente da abordagem adotada para a “produção LEAN”. Uma das ferramentas mais importantes usadas na aplicação “da construção LEAN é o Last Planner System” [17]. Esta ferramenta foi criada especificamente para o sistema produtivo da construção, tem como objetivo conceber um planeamento altamente flexível, com ajustes sucessivos consoante as tarefas subsequentes e os recursos disponíveis, de modo a não quebrar um fluxo de trabalho contínuo e controlar rigorosamente os desperdícios, sempre sujeito a controlos de produção apertados de modo a aumentar a previsibilidade dos processos.

Eis, então, que surge o conceito BIM -Building Information Modeling.

## 3.2 CONCEITO BIM

Como já foi referido, a indústria AEC há muito que procura formas para rentabilizar os seus projetos através do aumento da produtividade, da qualidade e da redução do tempo de entrega dos mesmos. BIM pode ser a chave para alcançar esses objetivos [10]. Mais correntemente conhecido como um projeto de construção simulado virtualmente, a tecnologia BIM permite a construção de um modelo digital 3D (Building Information Model) bastante preciso e detalhado. Uma vez completo, este modelo tem informação suficiente para dar apoio a todas as fases da conceção de um edifício. É também possível que o Building Information Model tenha bastante utilidade noutras fases do ciclo de vida de um projeto como, por exemplo, na fase de exploração do edifício, mais concretamente, em termos de operações e manutenção [18].

O modelo digital agrega informação relevante sobre a geometria, geografia, quantidades e propriedades dos elementos, custos, fabricantes e agenda do projeto. Basicamente, qualquer informação que seja relevante para o projeto pode ser submetida no modelo. Esta propriedade permite que a informação seja extraída mais rapidamente e sem prejuízo de perda de qualidade. É assim uma fiel representação do ciclo de vida do empreendimento [19].

Este processo virtual permite que os diferentes intervenientes colaborem de forma mais rigorosa e eficiente do que se usassem um processo dito tradicional. À medida que o projeto é criado, as várias equipas estão incessantemente a redefinir e a ajustar as suas parcelas trabalho de acordo com as disposições do projeto ou alterações submetidas, para que desta forma disponibilizem um modelo bastante preciso antes que a construção comece a ser erguida [20].

Contudo, o conceito BIM não circunscreve apenas uma tecnologia aplicada à construção, é também uma metodologia. Este modelo de colaboração implica fazer mudanças significativas no atual paradigma do fluxo de trabalho e entrega de projetos. O conceito BIM, que incorpora os princípios do conceito

Integrated Project Delivery, incentiva a participação de todas as partes interessadas no projeto, promovendo uma maior eficiência e sinergia entre todas elas quando outrora, rivalizam entre si[21].

### 3.3 APLICAÇÕES DO BIM

O modelo pode ser usado para diferentes propósitos. Destacam-se[21][22]:

- Melhor visualização, pois podem ser geradas diferentes vistas 3D com pouco esforço.
- Verificação da compatibilidade do projeto com as normas de segurança. Por exemplo, um modelo de informações sobre a construção pode ser facilmente adaptado para ilustrar graficamente possíveis falhas, planos de evacuação e assim por diante.
- Maior facilidade em obter estimativa de custos, uma vez que os software's BIM possuem recursos internos de estimativa de custos. As quantidades de material são extraídas e atualizadas automaticamente quando qualquer alteração é feita no modelo.
- Quanto ao faseamento da construção, um modelo de informações da construção pode ser usado de forma eficiente para coordenar tarefas, pedidos de material, fabricação e cronogramas de entrega para todas as matérias de construção.
- Detecção de erros: como os modelos de informações da construção são criados para dimensionar no espaço 3D, todos os principais sistemas podem ser verificados automaticamente e instantaneamente em busca de incompatibilidades. Por exemplo, esse processo pode verificar se uma tubagem não intercepe nenhum elemento estrutural.
- Gestão das instalações: os departamentos responsáveis pela gestão de instalações podem usá-lo para renovações, organização de espaços e operações de manutenção.
- A informação é mais facilmente partilhada e pode ser alterada ou reutilizada, o que se traduz numa maior eficiência e celeridade nos processos;
- Como os modelos são mais completos, as propostas das construções podem ser rigorosamente analisadas, permitindo a criação de melhores soluções;
- Controlo de informação sobre custos decorrentes das várias fases do ciclo de uma construção e aspetos ambientais, ou seja, estes aspetos passam a ser mais previsíveis;
- A informação digital pode ser explorada em processos mais avançados como o fabrico e montagem de sistemas estruturais;
- Constitui uma melhoria dos serviços prestados ao cliente, porque as propostas são melhor percebidas através de uma visualização mais amigável.

### 3.4 BIM RETURN ON INVESTMENT

O Return of investment (ROI) é uma de várias formas de avaliar um determinado investimento. ROI relaciona os ganhos expectáveis com o custo do investimento[23].

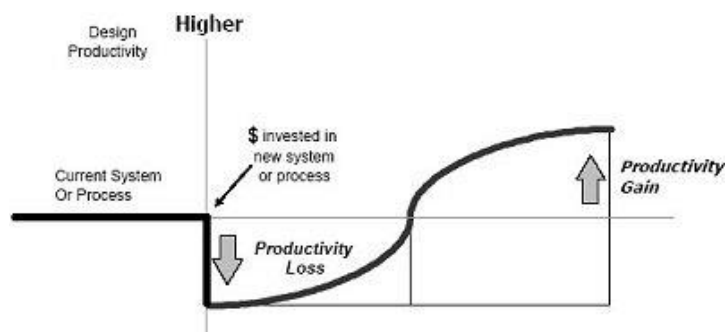


Figura 3.5 - Return on investment (ROI)

Se há relação que se pode retirar desta análise é a de que haverá uma perda de produtividade inicial com a mudança de paradigma de trabalho que será recuperada à medida que o domínio deste conceito cresce. É importante que os intervenientes de um projeto tenham esta noção para que, desta forma, possam adaptar as suas expectativas.

### 3.5 SOFTWARE BIM

Atualmente, já existe uma grande variedade de softwares BIM. A escolha do software tem de considerar os objetivos pretendidos, pois cada um tem diferentes valências nas várias especialidades de um projeto [24].

Tabela 3.1 - Lista de Software BIM

Arquitetura	ArchiCAD	Planeamento	AutoCAD Civil 3D
	Revit Architecture		Bentley PowerCivil
	Bentley Architecture	Gestão de Projetos	DDS-CAD Building
	DDS-CAD Architecture		Navisworks
	Allplan Architecture		Synchro
	Vectorworks Architect		Solibri Model Checker
	Gehry Digital Project		Vico Office
Estruturas	Tekla Structures	Gestão e Orçamentação de Projeto	MS Project
	Revit Structure		Vico Office
	Bentley Structural		Allplan BCM
	CAD/TQS	Operação e Manutenção - BIM FM	ArchiFM
	Aliplan Engineering		Bentley Facilities
	CypeCAD		FMDesktop
	Trical		Tririga
Sistemas Mecânicos e AVAC	DDS-HVAC		Ecodomus
	Revit MEP		YouBIM
	Bentley Mechanical Systems		Allplan Allfa
	Vectorworks Architect		Ryhti
	ADT Building Systems		Maximo
Sistema Electrico	Revit MEO	Visualizadores IFC (open BIM)	teklaBIMsight
	Bentley -Building Electrical Systems		BIMx
	DDS-CAD Electrical		Solibri Nodel Viewer
	Vectorworks Architect		DDS-CAD Viewer
Sistema Tubagens	Revit MEP		Nemetschek IFC Viewer
	Bentley Mechanical Systems		Autodesk Design Review
	DDS-HVAC		Bentley Navigator
	Pipedesigner 3D		
	GRAPHISOFT MEP Modeler		
	MEP BIM Integration Suite		

### 3.6 INDUSTRY FOUNDATION CLASS

Industry Foundation Classes (IFC) [15] é um formato universal para representação dos produtos da construção e troca de dados entre sistemas. Este formato consiste num arquivo de texto simples, já que o mesmo é o único formato de dados digital verdadeiramente universal. Não sendo ainda um formato de interoperabilidade standard (prevê-se que no futuro tenha um forte impacto nesta questão), é já habitual a sua utilização nas aplicações BIM mais correntes.

O formato IFC tem uma origem próxima da iniciativa ISO-STEP. A origem do STEP (Standard for the Exchange of Product model data), remonta para a década de 80, a uma iniciativa ISO (International Organization for Standardization) com o objetivo de desenvolver um standard universal para a representação do ciclo de vida de vários produtos industriais. Este standard deveria obedecer a uma série de especificações próprias de um modelo de dados para representação de produtos. Para o efeito, foi desenvolvida uma linguagem de programação que permitisse a incorporação sucessiva de novos elementos e especificações e consistente com os princípios de trocas de dados entre sistemas. Chamava-se EXPRESS ou EXPRESS-G (componente gráfica)[25].

As especificações STEP apresentam um âmbito alargado à indústria automóvel, indústria aeronáutica e espacial, e à indústria eletrónica. A indústria da construção encontrava-se incluída numa fase inicial do projeto, no entanto, a sua evolução neste contexto foi-se contraindo até acabar por estagnar.

Mais tarde, surge o formato IFC como uma iniciativa da IAI (International Alliance for Interoperability) [26] com vista à criação de um standard para a construção. A herança deixada pelo projeto ISO-STEP reflete-se na utilização da mesma linguagem de programação. A IAI é hoje conhecida como buildingSMART Alliance.

### **3.7 RISCOS PARA O BIM**

Pode-se dividir o risco associado ao uso do BIM em duas categorias: jurídicas e técnicas. Do lado dos riscos jurídicos decorrentes da implementação da metodologia BIM, tem-se que ainda não é possível determinar com exatidão o verdadeiro autor da informação BIM, sendo necessário proteger essa informação através de algum meio legal (leis de direito de autor). Por exemplo, se um cliente compra um projeto, supostamente seria ele mesmo o legítimo proprietário de todo o projeto, no entanto, no caso de as diferentes equipas de trabalho providenciarem alguma informação da sua exclusiva autoria, essa informação também precisa de ser protegida [27]. Como se pode verificar nesta situação existe aqui um conflito de propriedade intelectual. Esta não é uma situação muito simples de resolver.

Ainda nesta categoria surge outro problema. Quando outros membros além do proprietário, engenheiro ou arquiteto fornecem informação que será integrada no modelo da construção, poderão surgir alguns problemas de licenciamento. Por exemplo, os vendedores, como forma de aliciamento do responsável pelo projeto, costumam fornecer alguns projetos associados aos produtos que estão a vender. Apesar de ser uma boa estratégia de vendas, podem levantar-se algumas questões sobre o licenciamento caso esses projetos não tenham sido produzidos por alguém com as valências legais para o fazer[28].

Outro problema a ter em conta é quem é que controla a entrada de informação no modelo e assume a responsabilidade por qualquer imprecisão ou erro nele submetido. Esta tarefa implica um grande risco. Antes de usar a tecnologia BIM, é necessário negociar muito bem alguns aspetos como as indemnizações exigidas pelos utilizadores BIM e a oferta de garantias e isenções de responsabilidade por parte dos projetistas. Este processo também irá exigir mais tempo para a revisão e submissão de dados no modelo, que naturalmente constitui um custo adicional de conceção[28].

O conceito integrado do BIM poderá reduzir o nível de responsabilidade ao ponto de ser necessário aprimorar os riscos e as responsabilidades. Tome-se como exemplo o caso em que o proprietário dos ficheiros da construção deteta um erro de conceção. As várias entidades envolvidas no projeto tentarão entre elas determinar a responsabilidade da questão que foi levantada. No caso de não haver entendimento entre as partes, não só o líder do projeto será, em última instância, aos olhos da lei o responsável pelo sucedido, como enfrentará muitas dificuldades para apurar o culpado.

Na categoria técnica do risco destaca-se uma questão que é a interação tecnológica entre os vários planos. Assim que estiver concluída a submissão de informação sobre custos e durações das respectivas operações até ao início do mesmo, a entidade responsável pela compilação de toda a informação organiza um plano geral com todos os custos e durações. No caso de todos os intervenientes usarem o mesmo software, a integração da informação é feita de forma harmoniosa. No entanto, se a informação estiver incompleta ou espalhada em vários planos de agendamento e custo de operações, alguém terá a responsabilidade de reinserir e atualizar o plano geral. Esse plano poderá ser um módulo BIM ou outro que esteja integrado com o Building Information Model. Atualmente, muitas das ferramentas de gestão de projeto são desenvolvidas separadamente. Será então necessário esclarecer contratualmente toda a responsabilidade relativa às questões sobre a coordenação e a precisão dos dados relativos a custos e durações a serem inseridos no modelo da construção[28].

### **3.8 DESAFIOS FUTUROS DO BIM**

Atualmente, já começam a ser reconhecidos os impactos positivos da aplicação da metodologia BIM na indústria AEC. Além disso, a tecnologia para a implementar já está disponível e a evoluir rapidamente. Contudo, a adoção da metodologia BIM tem sido muito mais lenta do que o antecipado por alguns especialistas. Essencialmente, apontam-se duas razões para tal, de ordem técnica e de gestão.

As razões técnicas podem ser sintetizadas em três tópicos[29]:

- A necessidade de criação de modelos de construção transacionáveis de forma a eliminar problemas de interoperabilidade de dados;
- A requisição de dados digitais que possam ser editáveis informaticamente;
- A necessidade de estratégias praticas bem definidas com o propósito de promover a troca e integração de informação valiosa entre os diferentes componentes do Building Information Model.

Os problemas de gestão incidem mais sobre a implementação da metodologia BIM. Existe a necessidade de definir um modelo standard para a metodologia BIM e criar diretrizes para a sua implementação. Ao contrário de outras práticas construtivas, não existe um único documento orientador para o uso da metodologia BIM. Outro problema bastante controverso entre a indústria AEC é o de quem é que deve desenvolver e operar o Building Information Model e como é que os custos de desenvolvimento e de operabilidade deverão ser distribuídos.

Adicionalmente, a indústria terá de desenvolver políticas e processos aceitáveis que promovam o uso do BIM e que sejam capazes de lidar com os problemas do dia-a-dia relacionados com a titularidade dos direitos e riscos de gestão acima descritos[30].

Antigamente, os gestores de instalações (Facilities Managers) eram incluídos no planeamento da construção de uma forma muito limitada, só poderiam implementar estratégias de manutenção numa fase em que o projeto já tinha a sua forma final, ou seja, quando o dono de obra tomava posse do mesmo. No futuro, será espetável que a modelação em BIM permita que os gestores de instalações participem no projeto de conceção numa fase mais antecipada, em que possam ter mais influencia no design da construção. A mais valia que o BIM oferece a nível de visualização permite que todas as partes interessadas possam ter acesso a informações relevantes antes que a construção esteja completa. Entenda-se partes interessadas como sendo inquilinos, pessoal da manutenção e outros prestadores de serviços, por exemplo. O único problema é perceber quando é que será a altura indicada para incluir cada um destes intervenientes no processo BIM. Este será sem dúvida um grande desafio para os donos de obra.

### 3.9 BIM - MODELO 3D (PARAMÉTRICO)

As aplicações mais correntes utilizam o modelo tridimensional do edifício (Building Information Model) como um repositório dinâmico para integração da informação da construção ao longo de todo o seu ciclo de vida. Os elementos constituintes do modelo encontram-se ligados por relações paramétricas de modo a que a informação seja introduzida de forma estruturada e que as alterações se propaguem em tempo real. A metodologia das relações paramétricas consiste na atribuição de relações de vizinhança aos vários elementos que compõem o modelo [15][31]. As relações de vizinhança são processadas através de parâmetros que definem constrangimentos e implicações associados às entidades, o que resulta num modelo "inteligente" que adapta automaticamente todos os elementos do modelo quando se dá valores a parâmetros de apenas um dos elementos. A automatização da produção das peças de um projeto é uma das grandes bandeiras da modelação BIM, com as vistas a serem obtidas automaticamente a partir do modelo do edifício. Esta funcionalidade tira partido das relações paramétricas entre os elementos do modelo na medida em que permite trabalhar em qualquer uma das vistas sem a preocupação de ajustar as restantes. Há ainda mais alguns aspetos positivos do modelo 3D BIM, como por exemplo:

- Produção automática de cortes, plantas, alçados e pormenores construtivos [32];
- Interação com ferramentas de software (BIM tools);
- Programação de aplicações (APIs) que são interligados com o modelo 3D paramétrico

### 3.10 BIM – MODELO DE INFORMAÇÃO

Um modelo de informação é uma representação de conceitos, relações, restrições, regras e operações para especificar a semântica de dados para um determinado domínio. A vantagem de usar um modelo de informações é que ele pode fornecer uma estrutura compartilhada, estável e organizada de requisitos de informação para o contexto do domínio [33]. O modelo de informação pode ser definido com base em diferentes metodologias. O nível de detalhe de informação (LOD) define a sofisticação do modelo BIM.

Os modelos devem ser definidos de acordo com os requisitos estabelecidos, quer isto dizer que o nível de desenvolvimento deve ser definido previamente (contratualmente). O esforço de modelação aumenta exponencialmente com o LOD.

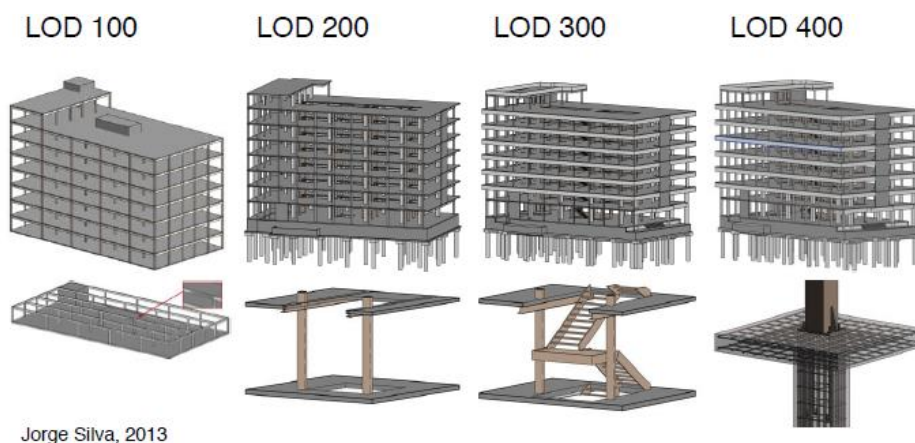


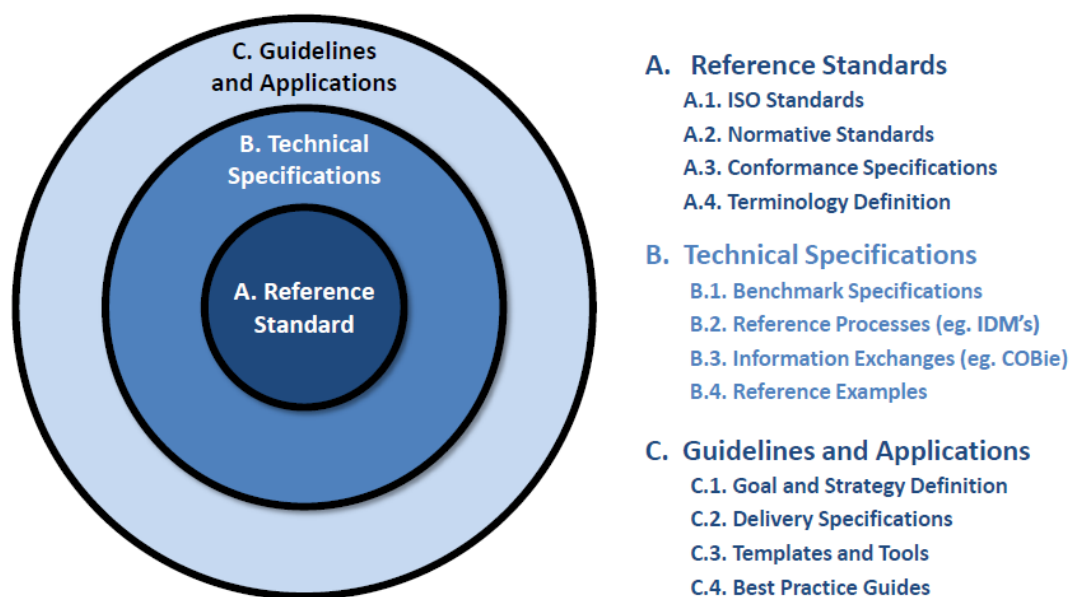
Figura 3.6 - Level of detail

### 3.11 NORMALIZAÇÃO BIM

#### 3.11.1 INTRODUÇÃO

Antes de desenvolver este tópico, importa perceber a diferença entre Standards, especificações técnicas e Guias. Segundo a ISO (International Organization for Standardization) [34][35]:

- Um standard (padrão) internacional ou nacional fornece regras, diretrizes ou características para atividades ou para os seus resultados, com o objetivo de atingir o ponto ótimo de ordem num determinado contexto. Pode assumir muitas formas. Além dos standards de produtos, outros exemplos incluem: métodos de teste, códigos de práticas, padrões de diretrizes e padrões de sistemas de gestão.
- Uma especificação técnica lida com trabalhos ainda em desenvolvimento técnico ou onde se acredita que haverá uma futura, mas não imediata, possibilidade de acordo sobre um standard. Uma especificação técnica é publicada para uso imediato, mas também serve como uma forma de obter um comentário (*feedback*) sobre o que se está a “regular”. O objetivo é que esta acabe por ser transformada e republicada como um Standard.
- Guias são apenas isso. Estes ajudam os leitores a entender mais sobre as principais áreas em que os standards agregam valor.



*Based on the NBIMS – US Content Model, courtesy of Deke Smith*

Figura 3.7 - Standards, Especificações técnicas e Guias [34]

Ao longo deste capítulo dedicado à metodologia BIM, principalmente no tópico que aborda os desafios para o futuro, ficou explícito que um dos obstáculos a superar na implementação do BIM é a falta de normalização. Existem algumas entidades que já têm fortes trabalhos desenvolvidos nessa área. Destaca-se a organização buildingSMART, sucessora da International Alliance for Interoperability (IAI), que cria standards com o objetivo de melhorar a troca de informação entre softwares e aplicações usados na indústria AEC.



A buildingSMART, em conjunto com vários vendedores de software, lançou uma iniciativa chamada openBIM. O openBIM é uma abordagem universal para o projeto colaborativo, a realização e a operação de edifícios com base em standards abertos e fluxos de trabalho. Daqui resultam os seguintes standards:

- Modelo de dados, IFC (ISO 16739:2013), que já foi amplamente abordado ao longo deste capítulo [36];
- Manuais de processo, IDM (Information Delivery Manuals - ISO 29481-1:2016), destina-se a facilitar a interoperabilidade entre softwares utilizados durante todas as etapas do ciclo de vida de uma construção, incluindo instrução, projeto, documentação, construção, operação e manutenção, e demolição. Promove a colaboração digital entre os atores no processo de construção e fornece uma base para troca de informações precisa, confiáveis, repetíveis e de alta qualidade [37];
- Dicionário de dados, IFD (International Framework Dictionary – ISO12006-3:2007), especifica um modelo de informação independente do idioma que pode ser usado para o desenvolvimento de dicionários usados para armazenar ou fornecer informações sobre trabalhos na área da construção. Permite que sistemas de classificação, modelos de informação, modelos de objetos e modelos de processos sejam referenciados a partir de uma estrutura comum [38].

### 3.11.2 GUIAS BIM MAIS USADOS

Enumeram-se os guias BIM mais usados [35]:

- COBIM (Vários autores, revisto por The Building Information Foundation RTS, Finland – 2012):
  - Definir com maior precisão o que está a ser modelado e como a modelação é feita;
  - Resultado de um projeto de desenvolvimento alargado a todas as fases do projeto.
- NBIMS – US version 2 (US National Institute of Building Sciences (NIBS) – 2012):
  - Fornecer standards para a construção de tecnologias de informação e a estrutura e sistema necessários para processos colaborativos;
  - Incentivar mais práticas produtivas de todos os membros da indústria AECOO.
- Penn State BIM Project Execution Planning Guide Version 2.1 (The Pennsylvania State University, CIC Research Group – 2010):
  - Um guia específico para a criação de planos de execução de projetos BIM.
- Australian National Guidelines for Digital Modelling (CRC Construction Innovation (an Australian national research centre) – 2009):
  - Assistir e promover a adoção de tecnologias BIM;
  - Um guia para gestores sobre BIM
- The VA BIM Guide (U.S. Department of Veterans Affairs – 2010):

Transitar a organização e os seus fornecedores para o BIM de forma eficaz e com a maior eficiência possível, integrando os requisitos do processo BIM e as metodologias de Integrated Project Delivery (IPD) aos seus requisitos de entrega.

### 3.11.3 SISTEMA E CLASSIFICAÇÃO

Com o intuito de resolver problemas muito específicos relacionados, principalmente, com a fase de conceção, a indústria AEC começou a desenvolver sistemas de classificação da informação. Os sistemas de classificação estabeleceram terminologias e semânticas padronizadas (standard) para o setor de construção que podem ser usadas em diferentes aspetos. Isso ajuda a resumir e organizar o conhecimento disponível de forma estruturada. Na indústria da construção, o uso de sistemas de classificação é bastante útil quando se trata de especificações, organização de documentos, orçamentação, partilha de

informações, etc. Mais importante, na metodologia BIM (Building Information Modeling), classificar modelos de produtos de construção de forma universal é uma das fases mais essenciais na organização dos modelos. Ao fornecer o código de classificação adequado aos modelos de produtos, estes podem ser organizados para informações de construção ou estimativa de custos dentro do modelo de construção e também podem ser classificados em bases de dados de produtos[39]. Os sistemas de classificação podem assumir várias estruturas, sendo as mais usadas definidas por códigos numéricos, alfanuméricos ou alfabéticos destinados a clarificar a organização da informação. Assim, é possível distinguir três tipos principais de classificação: Enumerativa, Hierárquica e Facetada.

Enumeram-se de seguida as principais necessidades que motivam a adoção de sistemas de classificação:

- Normalização da informação na indústria da construção civil;
- Partilha de informação feita de forma mais eficiente e organizada;
- Maior celeridade na preparação de documentação importante e de forma organizada;
- Disponibilização de informação no futuro;
- Rastreabilidade da informação;
- Acompanhamento do ciclo de vida do edifício;
- Estruturação/Organização/Armazenamento/" Padronização das estruturas de informação"
- Associa-se a uma estratégia de boa gestão de tempo e custos.

Destacam-se alguns sistemas de classificação como o [39]:

- Uniformat (EUA e Canadá) que organiza informações em torno das partes físicas de uma instalação, chamadas de sistemas e construções conhecidos como elementos funcionais. Estes sistemas e construções são caracterizados pela sua função sem identificar o resultado prático no trabalho. O seu principal uso é como formato de trabalho para o departamento de orçamentação apresentar estimativas de custo.
- Masterformat (EUA e Canadá), é uma lista de números e títulos classificados por atividades de construção para organizar requisitos, produtos, dados e atividades. A sua principal aplicação tem sido na organização de licitações e requisitos de contrato, especificações e informações sobre produtos. O seu uso original era definir um manual de projeto. Em seguida, passou a ser utilizado para classificação de modelos de produtos e outras informações técnicas.
- Omniclass (EUA e Canadá). Este é concebido para auxiliar na organização, classificação e recuperação de dados para uso na preparação de informações do projeto, informações sobre custos e especificações e outras informações geradas durante todo o ciclo de vida da instalação. É útil para muitas aplicações, como organizar materiais de biblioteca. A sua finalidade é fornecer uma classificação para todos os produtos e procedimentos durante o ciclo de vida do projeto.
- Uniclass (Reino Unido), desenvolvido com o objetivo de ser um sistema de classificação para todos os detalhes do processo de projeto e construção. Destina-se a organizar materiais de biblioteca e estruturar modelos de produtos e informações de projeto.
- ProNIC (Portugal), que consiste na criação de uma base de dados de conhecimento sobre os trabalhos de construção. Nessa base de dados deverão constar informações técnicas sobre os trabalhos de construção, incluindo especificações técnicas, regras de medição, fichas de custos e regras de segurança. Este sistema de classificação incide sobre em dois grandes grupos: conservação e reabilitação de edifícios, e trabalhos gerais de construção de edifícios e infraestruturas rodoviárias [40].

# 4

## IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NA EMPRESA DE ACOLHIMENTO

### 4.1 DESAFIOS TECNOLÓGICOS

A Hilti apercebeu-se há já algum tempo que o setor da construção começa a despertar para uma nova evolução tecnológica, muito facilitada pelas transformações digitais (tais como as que neste documento foram descritas), e, como parceira desta indústria, também enfrentará desafios tecnológicos se quiser continuar a ser uma referência neste mercado.

Em relação à área de negócio de venda de ancoragens, a empresa tem feito assinaláveis progressos no tipo de serviço que presta à indústria AEC, procurando desenvolver soluções mais sofisticadas facilmente integráveis na cadeia de valor dos seus parceiros.

Um bom exemplo da inovação empreendida no dimensionamento de ancoragens é a gama de softwares desenvolvida para esse efeito, com especial destaque para o PROFIS Engineering Suite. Este software tem uma abordagem muito abrangente a este tema. Possui uma ligação a um software estrutural na fase de pré-processamento, uma ferramenta de processamento e simulação para avaliar a solução ideal, assim como uma interface de pós-processamento para visualização, pedidos, logística e suporte digital na instalação no local.

### 4.2 VISÃO DA EMPRESA SOBRE O BIM

Como já referido anteriormente, a indústria AEC está constantemente à procura de formas para diminuir o custo do projeto, aumentar a produtividade e qualidade, aplicar práticas sustentáveis e reduzir o tempo de entrega. Portanto, é natural que o setor da construção comece a ponderar a implementação de tecnologias ou metodologias de trabalho que integrem o rigor, o método colaborativo e a fluência de trabalho, de modo a atingir esses mesmos objetivos. Sendo a Hilti uma empresa com um perfil internacional bastante vincado (opera em mais de 120 países), e estando também em contato direto com várias realidades da construção, apercebeu-se que o rumo a seguir pela indústria AEC será a adoção da tecnologia BIM. Atualmente, há já alguns países que apresentam taxas de implementação deste conceito bastante robustas. Logo, também a Hilti terá de se adaptar a este novo paradigma.

A multinacional já começou a dar os primeiros passos no domínio do Building Information Modeling, dos quais destacam-se:

- Formação de quadros no âmbito do conceito BIM;

- Desenvolvimento de ferramentas próprias BIM (plug-in's para softwares Revit, Tekla Structure);
- Desenvolvimento e comercialização de ferramentas que permitam a recolha e integração de informação no modelo BIM;
- “Digitalização” de todos os produtos Hilti, ainda que não parametrizados (pelo menos no que às ancoragens diz respeito);
- Estudo do método colaborativo nos termos da metodologia BIM;
- Estudo das fases do ciclo construtivo a interencionar.

Apesar da empresa já se estar a precaver para este cenário, e até parecer já estar (em termos gerais) bastante sensibilizada com o tópico, a assimilação da metodologia BIM ainda é feita a ritmos diferentes por toda a Hilti (talvez em sintonia com o ritmo de implementação no respetivo país em que opera) e ainda tem de superar alguns obstáculos como o da parametrização dos objetos a serem usados nos softwares BIM.

### **4.3 INTEGRAÇÃO DA EMPRESA NO PROCESSO COLABORATIVO**

Como explicado por McLeany, quanto mais concentrados os esforços estiverem na fase de conceção, maior será a influência sobre as soluções adotadas e, por sua vez, nos custos e qualidade de um projeto. Adicionalmente, há o desafio de perceber em que fase é que os vários intervenientes podem integrar o projeto e acrescentar valor ao longo do fluxo de trabalho. Ora, é intenção da Hilti é a de assumir-se como um parceiro dentro de um projeto BIM e contribuir com soluções para o mesmo. Devido à vasta gama de produtos e serviços que possui, a empresa consegue intervir nas três maiores fases do ciclo de uma construção: conceção, construção e manutenção. Perceba-se como:

- Conceção – como já foi mencionado, a empresa tem vindo a desenvolver ferramentas que auxiliam no dimensionamento de ancoragens, como é o caso do PROFIS Engineering. Além disso, possuem um departamento de engenharia capaz de auxiliar a tomada de decisões de ordem mais técnica, como por exemplo, ser o próprio departamento a dimensionar o tipo de ligação a adotar.
- Construção – nesta fase, a Hilti poderá contribuir de duas formas, no transporte do modelo BIM para o terreno e na execução. Começando pela primeira, a transferência do modelo BIM pode ser feita através da estação total robótica diretamente para o local da obra (BIM-to-Field). O contributo na execução será essencialmente através dos produtos que a empresa colocar à disposição.
- Manutenção – aqui a intervenção a ter será a inversa da apresentada na fase construção, ou seja, será a recolha de dados no local da obra para integração no modelo BIM (Field-to-BIM).

### **4.4 SERVIÇOS BIM PRESTADOS PELA EMPRESA**

A empresa pretende montar uma estrutura de serviços que se divide em dois grandes grupos: Off-Site e On-Site. Quanto aos serviços OFF-Site destacam-se três objetivos:

- BIM Standards, que consiste na disponibilização de bibliotecas de conteúdo muito completas, criação de pacotes OpenBIM e objetos paramétricos;
- BIM software, implementação de softwares como o PROFIS e desenvolvimento de plugins compatíveis com todos os Software BIM;
- BIM Service, aplica-se a engenharia mais avançada, a todo o tipo de soluções e fases de construção, e estabelecimento de um protocolo BIM.

Já nos serviços ON-Site tem-se os seguintes objetivos:

- Desenvolvimento de uma logística mais eficiente (Lean Logistics);
- BIM-to-Fiel, ou seja, transporte do modelo BIM para o campo e vice-versa;
- Mixed Reality, que consiste no recurso a tecnologias de realidade virtual (adiante explicar-se-á melhor este conceito).

A empresa também ambiciona definir um modelo de protocolo BIM, onde são definidos todos os serviços BIM requisitados pelo cliente e as habilitações necessárias para desempenhar as funções requeridas. Este será o primeiro passo a tomar antes de começar qualquer colaboração Hilti.

#### **4.5 BENEFÍCIOS ESPERADOS DA INTEGRAÇÃO DA EMPRESA NO PROCESSO BIM**

Existem vários benefícios de integrar a empresa no processo BIM. Enumeram-se então esses benefícios:

- Coordenação antecipada dos trabalhos MEP;
- Melhor noção e visão geral da construção a ser erguida através da Realidade Virtual, principalmente em fases mais antecipadas em que a construção propriamente dita ainda não começou. Constitui também uma ferramenta de apoio à decisão;
- Redução de engenharia no local durante a construção. Ao usar-se adequadamente ferramentas como Solibri e o Naviswork, podem detetar-se falhas na fase de conceção e preveni-las no mundo real;
- Possibilidade de pré-fabricação. Se o projeto não tiver nenhum conflito e se o design das estruturas de suporte assim o permitir, é possível aplicar soluções pré-fabricas. Isto permitirá a redução de tempos e custos;
- Coordenação de uma logística JIT (Just In Time). Como todos os componentes são modelados, a entrega no local pode ser programada de acordo com as folhas BOM (Bill of Materials) por seção, eixo, sala técnica, andar / história inteira, etc. Isso permite um melhor planeamento e menos material e coordenação no local. Além disso, alterações no design podem ser rapidamente analisadas quanto ao impacto na logística;
- Aplicação BIM-to-Field;
- Acesso a informação da construção para uso futuro.



# 5

## EXEMPLO PRÁTICO

### 5.1 ENQUADRAMENTO

O problema proposto para o dimensionamento de ancoragens foi o cálculo das ligações que suportarão a fachada do novo edifício de escritórios da Sonae (Figura 5.1 - Fachada do edifício PNES 4A e Figura 5.2 - Detalhe da fachada), o PNES 4A. Este edifício, do tipo industrial de serviços e telecomunicações, estará localizado no Parque de Negócios de Empresas da Sonae, situado na Maia, e terá uma ocupação prevista de 600 pessoas. O edifício tem cinco meios pisos de estacionamento enterrado, rés-do-chão com zonas comuns de salas de reuniões, zona de restaurante e de lazer para os ocupantes, e três pisos de escritórios.



Figura 5.1 - Fachada do edifício PNES 4A

A fachada, de forma irregular e não simétrica, será executada com perfis metálicos e tem uma extensão total de cerca de 110 metros e uma altura de 12,5 metros. Como se poderá ver pela Figura 5.1 - Fachada do edifício PNES 4A e pela Figura 5.2 - Detalhe da fachada, a fachada será sustentada exclusivamente por perfis metálicos que comunicam os seus forças à restante estrutura, mais concretamente, às vigas que sustentam a laje.

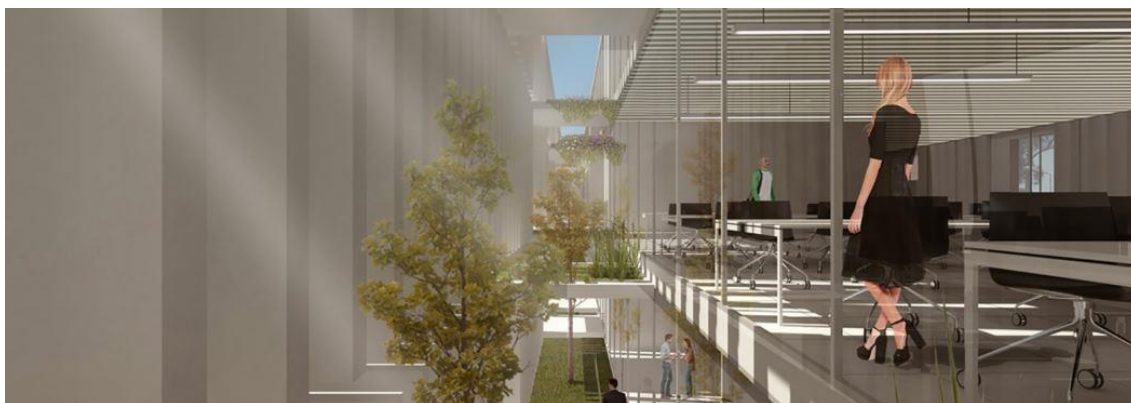


Figura 5.2 - Detalhe da fachada

Antes de se desenvolver o dimensionamento das ligações, importa salientar que todo o dimensionamento (direta ou indiretamente relacionado com as ancoragens) está assente nos seguintes pressupostos:

- Apenas foram contempladas as cargas inerentes à estrutura da fachada;
- A escolha da classe do betão foi imposta como parte do enunciado assim como os varões e ancoragens a usar (apesar de ser perceptível, em parte, os motivos que culminaram nessas opções);
- A configuração das vigas que sustentam a laje e a fachada decorrem de critérios de arquitetura e de engenharia de estruturas (ou outras especialidades) que transcendem o exercício proposto;
- As próprias dimensões da chapa de fixação são previamente definidas;
- O modelo da estrutura (Figura 5.3 - Modelo da fachada executado no ROBOT) usado como base de trabalho foi cedido pela empresa responsável pelo projeto em causa, portanto, tudo o que se pode afirmar acerca dos critérios escolhidos para a modelação é que estes, como ditam as normas e as boas práticas, foram escolhidos de forma a contemplar o pior cenário de cargas passível de solicitar a estrutura, mais precisamente, a fachada;
- A combinação de cargas usada tem em consideração o peso próprio da estrutura de fachada, restantes cargas permanentes, que neste caso são referentes a painéis GRC (Glass Fiber Reinforced Concrete - Betão Reforçado com Fibra de Vidro) afastados de 1 metro com a altura do piso, e uma sobrecarga regulamentar.

Em suma, o intuito é o dimensionamento de ancoragens e tudo o que envolva acautelar os diferentes modos de rotura das mesmas, sob condições muito bem definidas. Tudo o que implique alterações nas disposições do projeto é considerado fora dos limites do âmbito de estudo desta dissertação, além de que essas alterações poderiam colidir com os traços gerais do edifício ou, até mesmo, a sua utilização prevista.



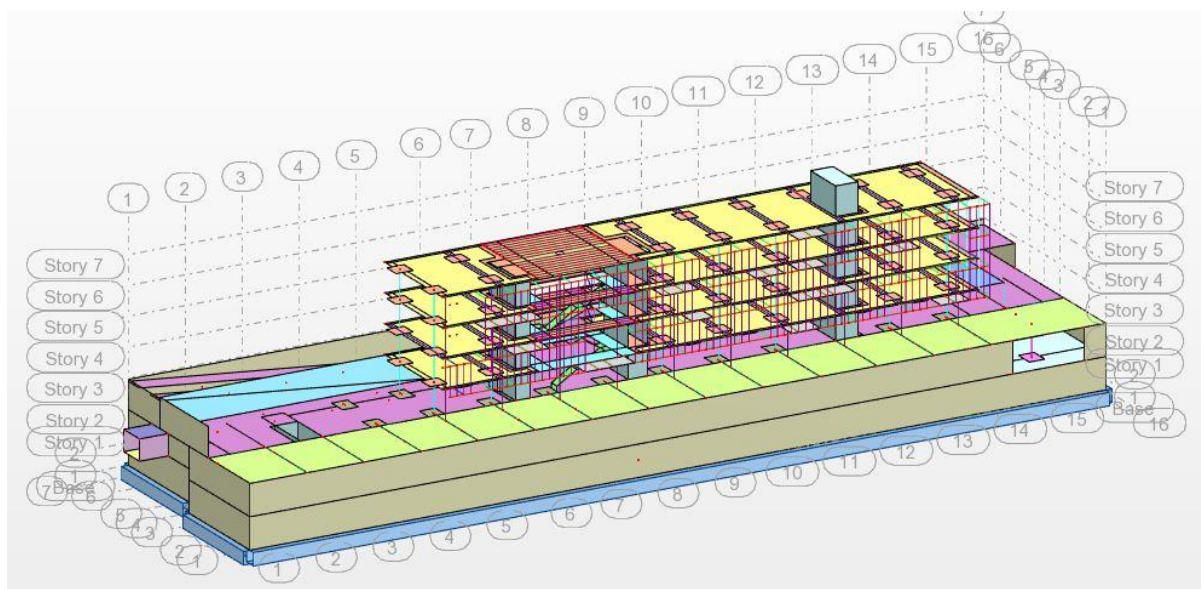


Figura 5.3 - Modelo da fachada executado no ROBOT

## 5.2 HIPÓTESES DE DIMENSIONAMENTO

### 5.2.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Anteriormente (no capítulo de dimensionamento de ligações), foi referido que algumas empresas de comercialização de ancoragens disponibilizam ferramentas para o dimensionamento de ancoragens, contudo, convém ter um número e uma geometria pré-dimensionada para que esta tarefa seja mais expedita. Ou pode-se sempre usar o tradicional método “tentativa-e-erro”. Além disso, acresce também o problema de que o software dado como exemplo, apesar de ser um excelente auxiliar no dimensionamento de ancoragens, tem como limitação o facto de apenas ser aplicável exclusivamente a ancoragens, pois todas as verificações de segurança são efetuadas com base no EOTA TR029. Ou seja, para dimensionar uma ligação que combine ancoragens químicas com varões “de atravessamento integral” (que será o caso), já não é possível recorrer ao software PROFIS (Anchor ou Engineering) pois este não reconhece esse tipo de elementos ou outros semelhantes.

Posto isto, surge o primeiro obstáculo a ultrapassar: como dar início ao dimensionamento das ligações de forma a não cair em redundâncias desnecessárias e sem perder tempo útil de projeto? Note-se que nesta fase, todo o pré-dimensionamento é feito de forma alheia às normas ou guias em vigor para o dimensionamento de ancoragens, excetuando algumas informações da respetiva ETA da ancoragem.

Então, comece-se por reunir o maior número de informações possível. Os elementos disponíveis são, essencialmente, os seguintes:

- Dimensões dos perfis metálicos e das respetivas chapas de fixação (ver Figura 5.5 - Perfil PRS ( C ) 550x415x15 e Figura 5.4 -Perfil IPE 330;
- Dimensões das vigas que serão solicitadas pela fachada (0,45x0,55 m) ;
- Classe de betão a usar, neste caso C30/37;
- Tipos de ancoragens e respetivos varões: Ancoragens químicas M16, L250, Cl. 8.8 (correspondente ao Hilti Hit-HY 200-A + Hit-V);
- Esforços que solicitarão as ligações.

As linhas amarelas representam todos os elementos metálicos, nomeadamente, os perfis que suportam a fachada e as chapas de fixação. Já as linhas a vermelho representam os elementos de betão. Em ambas

as figuras existem uns prolongamentos na horizontal das linhas a vermelho. Esses prolongamentos representam a continuidade da laje que irá interceder as vigas, transmitindo as suas cargas para estas. No entanto, como já referido, não será estudada a influência que a laje terá na viga, sendo que a representação da mesma é meramente ilustrativa.

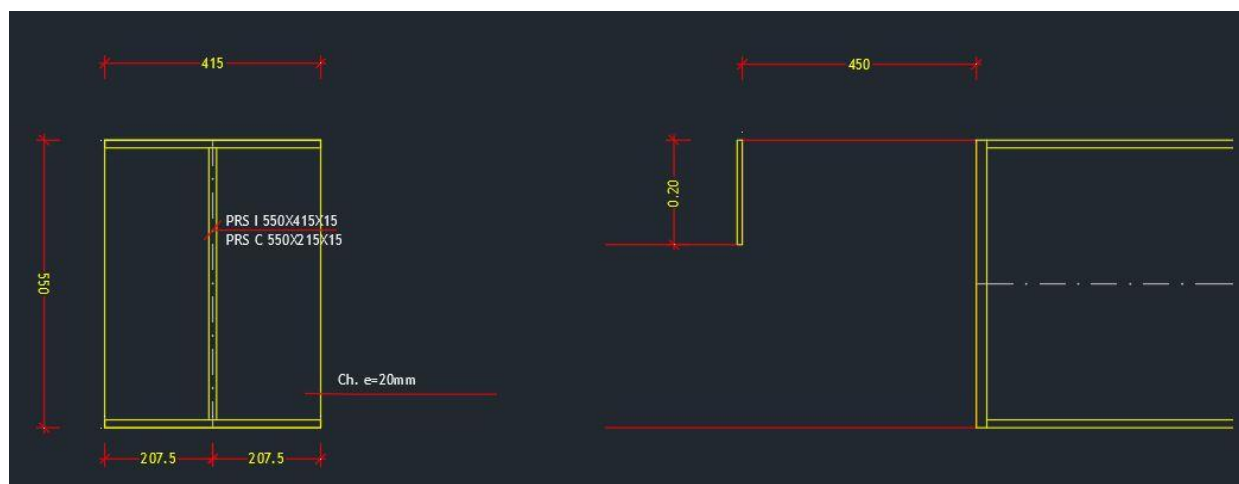


Figura 5.5 - Perfil PRS ( C ) 550x415x15



Figura 5.4 -Perfil IPE 330

Importa salientar que em todas as fases do dimensionamento foi considerado que a espessura da chapa de fixação era suficientemente para de considerar que a mesma era infinitamente rígida à flexão. Enumerados todos os dados disponíveis, recordemos os conhecimentos abordados no capítulo sobre o dimensionamento de ancoragens no que diz respeito aos modos de rotura do conjunto ancoragem-material-base e sobre as transferências de carga. A Figura 5.6 - Modos de rotura de uma ancoragem sintetiza todos os modos de rotura suscetíveis de acontecer quando a ancoragem é solicitada ao corte e à tração. Recorde-se que independentemente do tipo de esforço que solicite a ligação (seja momento fletor ou torsor, forças verticais ou horizontais), as cargas serão sempre decompostas em forças de corte ou de tração.

## Modos de rotura

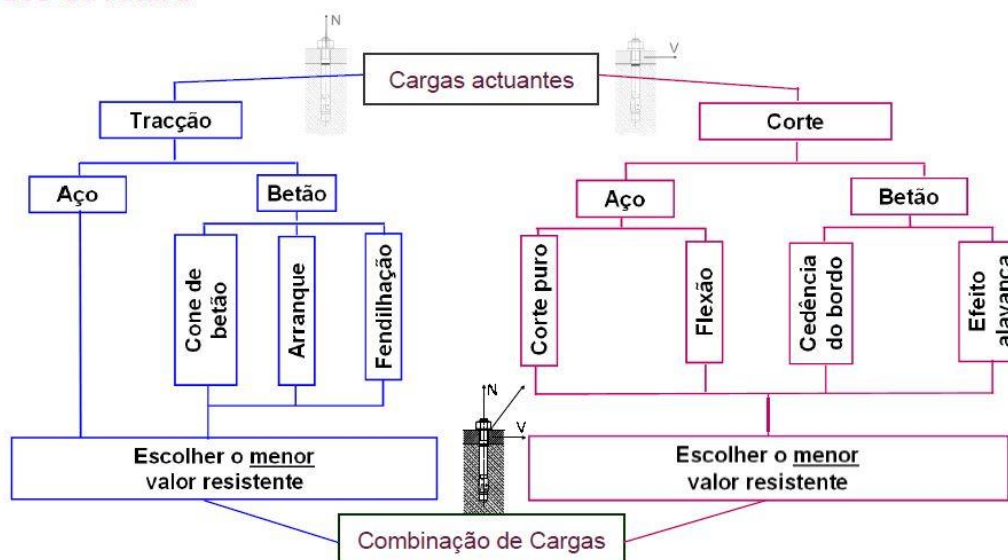


Figura 5.6 - Modos de rotura de uma ancoragem

O que importa reter sobre os modos de rotura, nesta fase de pré-dimensionamento, é que a rotura pode ocorrer no aço ou no betão. Assim sendo, será necessário tomar medidas para prevenir essas mesmas falhas. Retomar-se-á mais adiante esta questão. Agora importa perceber como será o funcionamento da ligação, ou seja, como é que esta irá reagir às cargas que a irão solicitar. Mas antes de fazer esse exercício convém prestar atenção aos quadros abaixo expostos.

Tabela 5.1 – Esforços máximos instalados no Perfil PRS 550x415x15

	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)	Mz (kN.m)
máximo+	2,17	9,01	54,1	0,07	86,73	16,06
mínimo +	0	0,01	20,36	0	0,01	0,02
mínimo -	0	-0,02	-48,16	0	-48,8	-0,04
máximo -	-2,92	-5,59	-48,16	-0,1	-110,58	-10,71

Tabela 5.2 - Esforços máximos instalados no Perfil PRS ( C ) 550x415x15

	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)	Mz (kN.m)
máximo+	3,27	2,17	56,7	0,04	110,58	3,34
mínimo +	0	0	30,66	0	71,45	0
mínimo -	0	0	-36,76	0	-67,66	0
máximo -	-2,87	-2,04	-51,66	-0,04	-110,58	-3,15

Tabela 5.3 - Esforços máximos instalados no Perfil IPE 330

	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)	Mz (kN.m)
máximo+	2,52	0,37	46,82	0,01	-58,02	0,51
mínimo +	0,01	0,02	36,75	0	0	0,03
mínimo -	-0,01	-0,01	0	0	-58,02	-0,01
máximo -	-1,25	-0,39	36,75	0	-58,02	-0,54

Estas tabelas representam os esforços máximos instalados nas ligações em todas as direções e sentidos (segundo o referencial local da barra).

Como se pode verificar, os esforços mais acentuados são os momentos fletores em torno do eixo horizontal e os esforços transversos na direção vertical. A partir da análise dos esforços instalados e da geometria da viga de suporte é possível começar a dar forma à nossa ligação. Por exemplo, como os momentos fletores em torno do eixo horizontal são bastante expressivos e atuam nas duas direções, será necessário colocar elementos que fixem a chapa de fixação na parte superior e inferior. Mais, como os 200 milímetros superiores da viga estão desimpedidos (pois os 350 milímetros inferiores são intercetados pela laje) é possível colocar aí varões de atravessamento integral e na parte inferior as ancoragens.

Aprofundando mais a questão da distribuição de esforços na ligação, há um detalhe que salta à vista. O facto de não existirem forças de “adesão”, ou outras que se assemelhem, entre a chapa de fixação e a viga mostra que a componente de tração introduzida pelo binário irá ser absorvida pelos elementos que fixam a chapa de fixação (sejam estes as ancoragens ou os varões, consoante o sentido do momento fletor) e a componente de compressão ira ser equilibrada, de grosso modo, por uma porção da altura da viga (desprezou-se qualquer contributo que os varões possam introduzir na resistência à compressão). As figuras Figura 5.7 - Exemplo de uma peça simulada no programa PROFIS e Figura 5.8 - Distribuição de tensões são referentes a uma simulação, realizada no PROFIS Anchor, de uma peça apenas solicitada por um momento em torno do eixo de maior inercia. Neste exemplo é explícita a forma como as tensões se distribuem.

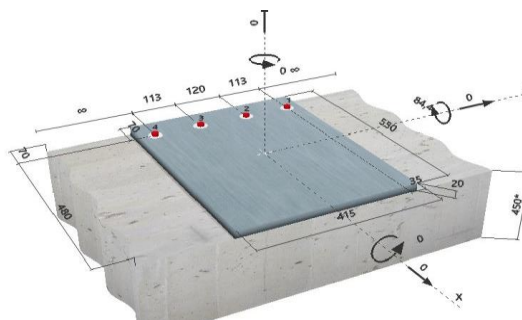


Figura 5.7 - Exemplo de uma peça simulada no programa PROFIS

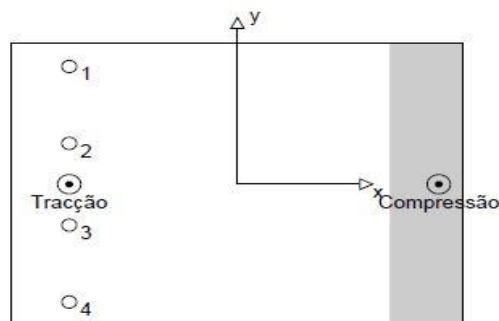


Figura 5.8 - Distribuição de tensões

Agora, resta arranjar uma forma de cálculo que reproduza esta interação e que ao mesmo tempo permita aferir a segurança da mesma. Ora, não havendo nenhuma forma previamente definida para tal, procurou-se perceber que tipo de modelo de dimensionamento ensinado ao longo do curso de Engenharia Civil se aproximava mais do objetivo pretendido. Inicialmente, pensou-se no cálculo usado na verificação de vigas no Estado Limite Último, ou seja, o método usado no dimensionamento de vigas (ver Figura 5.9 - Cálculo dos Estados Limites Últimos). Pensava-se que desta forma se conseguiria obter um número aproximado de elementos que seriam necessários para que não houvesse rutura do aço devido às tensões de tração nele instaladas.

Contudo, quando se comparam os valores das tensões instaladas nas ancoragens obtidos pela abordagem de cálculo anterior com os valores de cálculo da respetiva ETA, verifica-se que os últimos são excedidos. Isto deve-se, essencialmente, a dois motivos. O primeiro é a diferença entre os fatores parciais de segurança. Os fatores parciais de segurança usados na abordagem de cálculo aos Estados Limites Últimos são menos conservativos do que os usados para calcular as resistências de cálculo constantes na ETA. E o segundo motivo é que toda a abordagem de cálculo está assente na premissa de que a parte de betão que resiste à compressão está a ser solicitada pela sua tensão de cálculo máxima, o que não é necessariamente verdade.

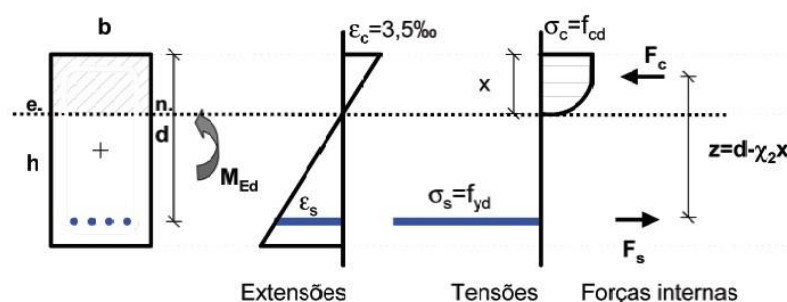


Figura 5.9 - Cálculo dos Estados Limites Últimos

Então, tendo em conta todas as considerações tecidas no paragrafo anterior, a solução que se seguia seria usar uma distribuição de tensões no regime elástico, equivalente ao método de cálculo das tensões no estado não fendilhado de uma viga, mas com uma ligeira alteração: não haveria contribuição do betão na resistência à tração (ver Figura 5.10 - Cálculo das tensões no regime elástico). Depois de obtidas as tensões instaladas nos diferentes elementos, nomeadamente nas ancoragens, vai-se ajustando iterativamente o número de elementos a dispor até que se verifiquem os requisitos estabelecidos na respetiva ETA (no caso das ancoragens).

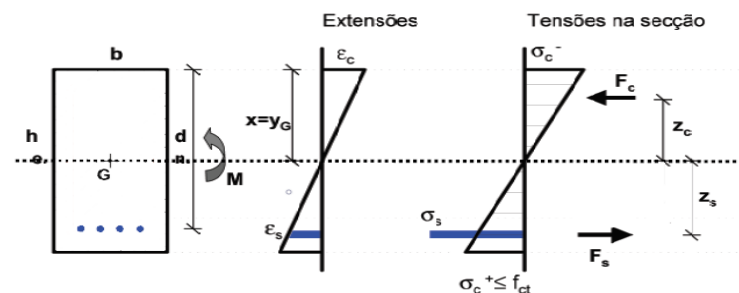


Figura 5.10 - Cálculo das tensões no regime elástico

É de salientar que todas as informações sobre a correta instalação das ancoragens constam nas respetivas ETAs. Por exemplo, uma das informações que se pode retirar de uma ETA, é a distância mínima que as ancoragens devem salvaguardar em relação ao bordo (assim como o espaçamento entre elas), e isso permitiu a definição do braço das ancoragens usado no cálculo do momento. A título de exemplo, a figura Figura 5.11 - Exemplo de uma ETA sobre os detalhes de instalação) apresenta uma parte de uma ETA referente aos detalhes de instalação.

Detalhes de instalação										
Diâmetro da ancoragem			M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Diâmetro nominal da broca	d <sub>0</sub>	[mm]	10	12	14	18	22	28	30	35
Gama de profundidade efetiva do furo e da ancoragem <sup>a)</sup>	h <sub>ef,min</sub>	[mm]	60	60	70	80	90	96	108	120
	h <sub>ef,max</sub>	[mm]	160	200	240	320	400	480	540	600
para HIT-V										
Espessura mínima do material base	h <sub>min</sub>	[mm]	h <sub>ef</sub> + 30 mm			h <sub>ef</sub> + 2 d <sub>0</sub>				
Diâmetro do furo na chapa	d <sub>f</sub>	[mm]	9	12	14	18	22	26	30	33
Binário de aperto	T <sub>max</sub> <sup>b)</sup>	[Nm]	10	20	40	80	150	200	270	300
Espaçamento mínimo	s <sub>min</sub>	[mm]	40	50	60	80	100	120	135	150
Distância ao bordo mínima	c <sub>min</sub>	[mm]	40	50	60	80	100	120	135	150

Figura 5.11 - Exemplo de uma ETA sobre os detalhes de instalação

Após o dimensionamento do número de ancoragens e varões necessários para resistir à tração, interessa, também, apurar se o somatório desses elementos é suficiente para resistir às forças de corte. Para isso considerou-se que as mesmas eram igualmente solicitadas pelo esforço transversal. Só é possível aplicar esta análise se se verificar cumulativamente dois requisitos: é essencial que exista uma chapa de fixação suficientemente espessa para que tenha uma rigidez capaz de distribuir os esforços equitativamente por todos os elementos; e a adoção de uma geometria dos elementos fixadores de forma a forçar o centro de rigidez da peça a ficar coincidente com o centro de massa do perfil, evitando, assim, excentricidades. Mais uma vez, convém verificar se as forças de corte instaladas nas ancoragens são compatíveis com as forças de corte de cálculo especificadas na respetiva ETA. Para finalizar, é recomendável a colocação de umas ancoragens extra (pelo menos duas), sensivelmente a meio da secção (sem que estas alterem o centro de rigidez da peça) com o objetivo de melhorar o comportamento da ligação quando submetida a forças de corte.

Assim, começa-se simultaneamente a prevenir o modo de rotura do aço e ao mesmo tempo a definir aquilo que será a ligação. Passemos agora à análise do comportamento da viga de betão. De forma a premunir a cedência pelo betão, uma solução passível de se aplicar seria o aumento da classe de resistência do betão. Outra solução, não tão evidente, passa pela colocação de armaduras com o objetivo de melhorar o comportamento da viga em relação aos modos de rutura. Porém, estas não são as únicas falhas que podem ocorrer na viga. A configuração das cargas assim como as próprias características da viga, podem induzir fenómenos de torção, punçoamento e rutura por esforço transversal.

Como a viga de betão é solicitada ao corte pela viga que a interceta, torna-se indispensável fazer a verificação de segurança em relação ao esforço transversal. Para tal, recomenda-se a consulta da secção 6.2 do Eurocódigo 2 parte 1-1 [41] ou do Artigo 53º do REBAP [42].

Quanto ao fenómeno de torção, apesar de este não ser tão obvio como o primeiro, é algo a considerar e poderá ser o modo de rutura mais condicionante. Se olharmos com atenção para a Figura 5.12 - Cargas atuantes na viga de betão torna-se mais simples perceber os motivos por que este surge. O momento



$M_{ed}$  pode ser decomposto num binário e, por sua vez, num momento torsor em torno do eixo da viga. Em relação à força vertical  $V_{ed}$ , como esta é excêntrica em relação ao eixo da peça, também irá gerar um momento torsor na viga. Portanto, à semelhança do esforço transversal, é necessário fazer a verificação de segurança à torção devido aos efeitos combinados do esforço transversal  $V_{ed}$  e do momento  $M_{ed}$ . A secção 6.3 do Eurocódigo 2 parte 1-1 ou o Artigo 55º do REBAP abordam esta questão.

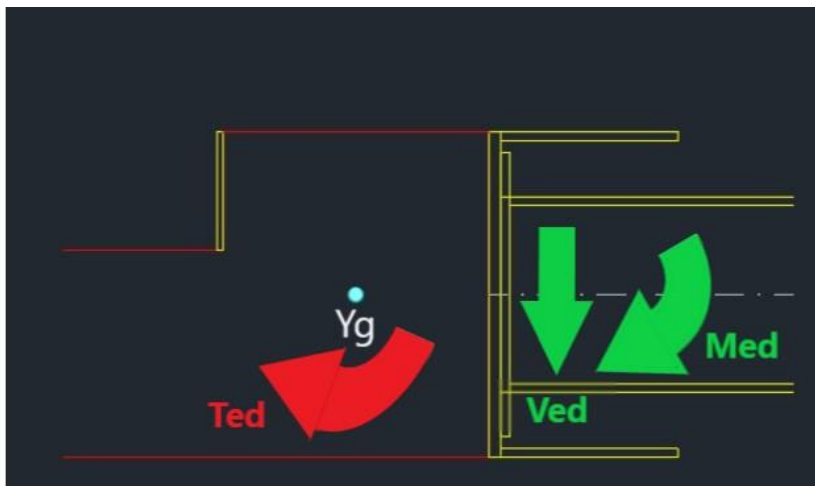


Figura 5.12 - Cargas atuantes na viga de betão

Por último, resta avaliar o fenómeno do Punçoamento. O momento  $M_{ed}$  pode ser decomposto num binário, tal como referido anteriormente, contudo, uma das forças desse binário está aplicado numa porção muito limitada de betão (ver Figura 5.13 - Binário atuante e Figura 5.14 - Punçoamento).

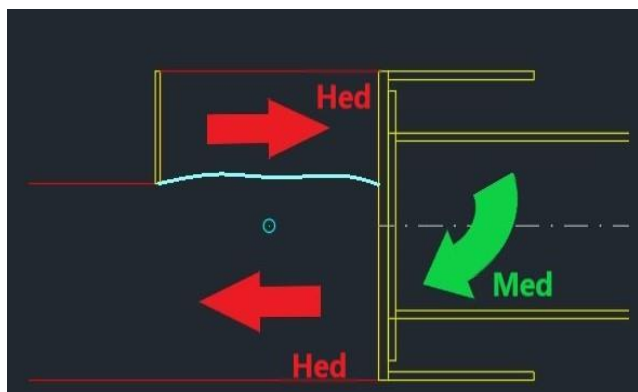


Figura 5.13 - Binário atuante

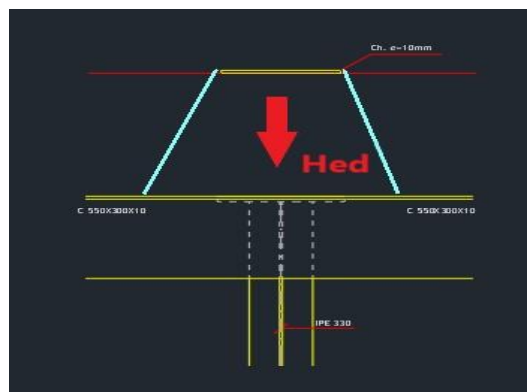


Figura 5.14 - Punçoamento

Como se pode perceber pelas figuras, é possível haver cedência do betão na direção das linhas a azul, caso o momento  $M_{ed}$  seja bastante elevado. É, portanto, necessário aferir se aquela secção de 200 milímetros da viga de betão (quer isto dizer a área de cálculo associada a este modo de rutura) tem capacidade suficiente de resistir ao punçoamento ali instalado. A secção 6.4 do Eurocódigo 2 e o Artigo 54º do REBAP descrevem os procedimentos para averiguar a capacidade resistente a este tipo de ações.

Visto que a situação em causa é referente a um caso em que uma viga é suportada por outra, ou seja, um apoio indireto, o Eurocódigo 2 prevê o dimensionamento de uma armadura de suspensão. Esta armadura deve ser adicionada às armaduras transversais que já tenham sido previamente dimensionadas.

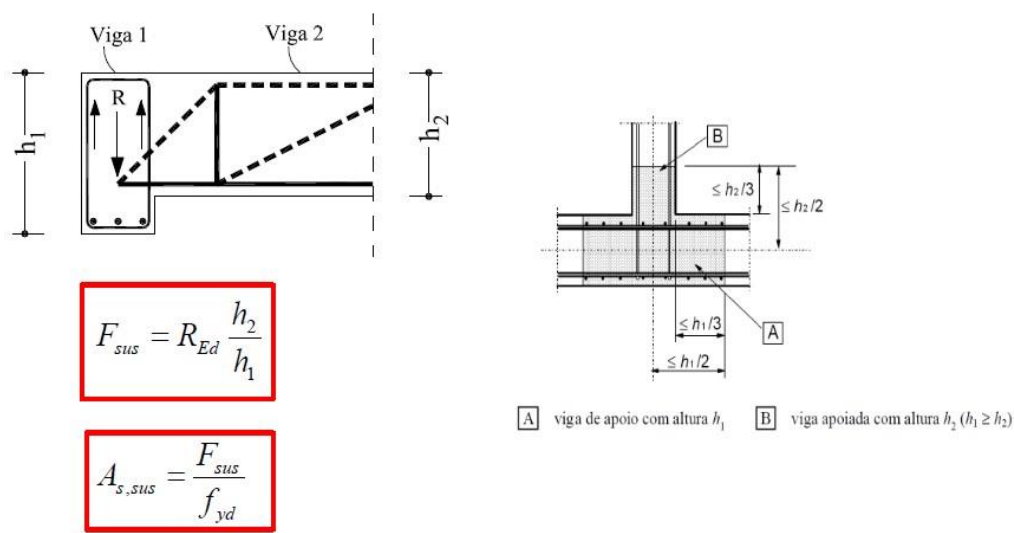


Figura 5.15 - Apoio indireto

Há, porém, uma limitação nesta fase de pré-dimensionamento: o facto de não se conseguir avaliar com algum grau de confiança a fragilidade da peça em relação aos modos de rutura das ancoragens (em relação à cedência pelo betão). Ora, a cedência no betão é, de uma forma muito simples, o destacamento de uma secção da peça de betão (normalmente, associada a uma área de influência da ancoragem) quando sujeita a um determinado esforço. Logo, se a peça for reforçada com armaduras transversais, tenderá a não ficar tão suscetível a esses modos de rutura. É esse o efeito que se espera obter com o dimensionamento das armaduras para as vulnerabilidades que foram apontadas nos parágrafos anteriores.

## 5.2.2 DIMENSIONAMENTO SEGUNDO O EOTA TR029

O relatório EOTA TR029 [6] aplica-se a ancoragens químicas devidamente certificadas e descreve o método de dimensionamento das mesmas.

Preferiu-se explicar este método de dimensionamento e não o Anexo C – ETAG 001 (ou os dois), uma vez que o exemplo prático indica especificamente o uso de ancoragens químicas e, também, por que estes relatórios são bastante idênticos. Procurou-se fazer uma abordagem ao EOTA TR029 mais orientada para o caso prático que se está a estudar.

### 5.2.2.1 Distribuição de cargas à tração

As cargas atuantes são calculadas de acordo com a teoria da elasticidades com base nos seguintes pressupostos:

- A chapa de fixação terá de possuir rigidez suficiente para não se deformar quando submetida a carregamentos de tração;



- A rigidez de todas as ancoragens é a correspondente ao módulo de elasticidade do aço. O módulo de elasticidade do betão é fornecido no EC2. Como simplificação pode usar-se o valor  $E_c = 30000 \text{ N/mm}^2$ .
- Na zona comprimida da peça, as ancoragens não contribuem para a transmissão de forças normais.

#### 5.2.2.2 Distribuição de cargas ao corte

A distribuição de forças de corte dependerá do modo de rutura:

- Na análise da rutura pelo aço e efeito “pry-out” é assumido que todas as ancoragens de um grupo suportam a força de corte caso o diâmetro de furo não seja superior aos valores indicados na tabela;
- Na análise da rutura por cone de betão apenas as ancoragens mais desfavoráveis é que suportam as forças de corte, se essas forças atuarem na direção perpendicular ao bordo e no sentido do mesmo. Todas as ancoragens suportam as forças de corte se o carregamento atuar na direção paralela ao bordo.

Tabela 5.4 – Diâmetros admissíveis [6]

external diameter $d^{(1)}$ or $d_{nom}^{(2)}$ (mm)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
diameter $d_f$ of clearance hole in the fixture (mm)	7	9	12	14	16	18	20	22	24	26	30	33
<sup>1)</sup> if bolt bears against the fixture												
<sup>2)</sup> if sleeve bears against the fixture												

#### 5.2.2.3 Disposições gerais

Passando à explicação. Em qualquer verificação de segurança terá de ser respeitada a condição de que a ação atuante de cálculo ( $Sd$ ) tem de ser menor ou igual à resistência de cálculo ( $Rd$ ):

$$Sd \leq Rd \quad (5.1)$$

$$Rd = Rk/\gamma_M \quad (5.2)$$

Sendo  $Rk$  a resistência característica de uma só ancoragem ou de um grupo de ancoragens e  $\gamma_M$  o coeficiente parcial de segurança.

Tabela 5.5 . Coeficientes de Segurança [5]

MODO DE ROTURA	COEFICIENTE PARCIAL DE SEGURANÇA	
<b>Rotura por cone de betão</b> <b>Rotura por “splitting”</b> <b>Rotura por “pull-out”</b> <b>Rotura por “pry-out”</b> <b>Rotura do betão pelo bordo</b>	$\gamma_{Mc} = \gamma_c \times \gamma_2$	
	$\gamma_c = 1,5$ (para betão)	
	$\gamma_2$	<b>Esforço axial</b>
		1,0 para sistemas de instalação de alta segurança
		1,2 para sistemas de instalação de segurança normal
		1,4 para sistemas de instalação de baixa segurança mas ainda assim aceitável
		<b>Esforço de corte</b>
1,0		
Para os coeficientes parciais $\gamma_{Msp}$ e $\gamma_{Mp}$ deve ser adotado o valor de $\gamma_{Mc}$ .		
<b>Rotura do aço</b>	$\gamma_{Ms}$	<b>Esforço axial</b>
		$\frac{1,2}{f_{yk}/f_{uk}} \geq 1,4$
		<b>Esforço de corte</b>
		$\frac{1,0}{f_{yk}/f_{uk}} \geq 1,25$ se $\begin{cases} f_{uk} \leq 800N/mm^2 \\ E \\ f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8 \end{cases}$
		$1,5$ se $\begin{cases} f_{uk} > 800N/mm^2 \\ OU \\ f_{yk}/f_{uk} > 0,8 \end{cases}$

Na Tabela 5.6 – Verificações de segurança enumeram-se os diferentes modos de rutura contemplados no EOTA TR029 e as respetivas verificações de segurança

Tabela 5.6 – Verificações de segurança [5]

			Dispositivo de Ancoragem		
			Individual	Grupo	
Dimensionamento ao esforço axial	J	Rotura do aço	$N_{Sd} \leq N_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	$N_{Sd}^h \leq N_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	
	K	Rotura por combinação dos fenómenos de “pull-out” e cone de betão	$N_{Sd} \leq N_{Rk,p}/\gamma_{Mp}$	$N_{Sd}^h \leq N_{Rk,p}/\gamma_{Mp}$	
	L	Rotura por cone de betão	$N_{Sd} \leq N_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$		$N_{Sd}^g \leq N_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$
	M	Rotura por “splitting”	$N_{Sd} \leq N_{Rk,sp}/\gamma_{Msp}$		$N_{Sd}^g \leq N_{Rk,sp}/\gamma_{Msp}$
Dimensionamento ao esforço de corte	N	Rotura do aço sem efeito de alavanca	$V_{Sd} \leq V_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	$V_{Sd}^h \leq V_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	
	O	Rotura do aço com efeito de alavanca	$V_{Sd} \leq V_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	$V_{Sd}^h \leq V_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	
	P	Rotura por “pry-out”	$V_{Sd} \leq V_{Rk,cp}/\gamma_{Mc}$		$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,cp}/\gamma_{Mc}$
	Q	Rotura do betão pelo bordo	$V_{Sd} \leq V_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$		$V_{Sd}^g \leq V_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$

#### 5.2.2.4 Rotura do aço à tração

A resistência característica de uma ancoragem no caso de rotura do aço é dada pela seguinte equação:

$$N_{Rk,s} = A_s \times f_{uk} [N] \quad (5.3)$$

$N_{Rk,s}$ , é fornecido na respetiva ETA.

#### 5.2.2.5 Rotura combinada por arranque (“pull-out”) e cone de betão

A resistência característica para este caso é calculada através da seguinte equação:

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \times \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \times \psi_{s,Np} \times \psi_{g,Np} \times \psi_{ec,Np} \times \psi_{re,Np} [N] \quad (5.4)$$

Os diferentes fatores da equação (1.4) são enumerados a seguir:

A. O valor inicial da resistência característica de uma ancoragem:

$$N_{Rk,p}^0 = \pi \times d \times h_{ef} \times \tau_{Rk} \quad (5.5)$$

$\tau_{Rk} [N/mm^2]$ ;  $d$  e  $h_{ef} [mm]$

$\tau_{Rk}$  é a resistência característica de adesão (ou calagem), que depende de fatores como a classe de resistência do betão e do seu estado de fendilhação (valores disponíveis na respetiva ETA). O parâmetro  $d$  é referente ao diâmetro da ancoragem.

B. O efeito geométrico do espaçamento e da distância ao bordo também é considerado através da relação  $\frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0}$ , onde:

- $A_{p,N}^0$  é a área de influência de cálculo de uma ancoragem individual:  $A_{p,N}^0 = S_{cr,Np} \times S_{cr,Np}$ ;
- $A_{p,N}$  é a área total real de influência obtida por sobreposição das áreas de influência adjacentes.
- $S_{cr,Np} = 20 \times d \times \left(\frac{\tau_{Rk,urc}}{7,5}\right)^{0,5} \leq 3 \times h_{ef}$  [mm];
- $C_{cr,Np} = \frac{S_{cr,Np}}{2}$  [mm]

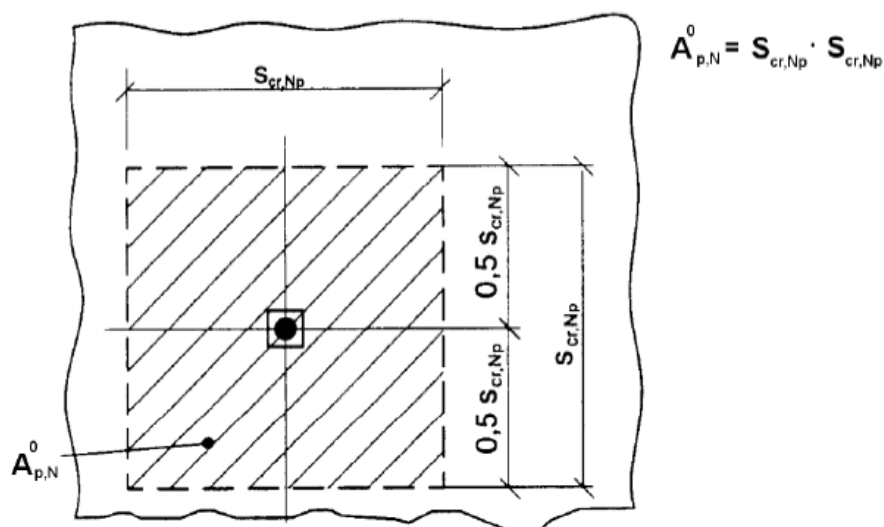


Figura 5.16 - Área de influência de cálculo [6]

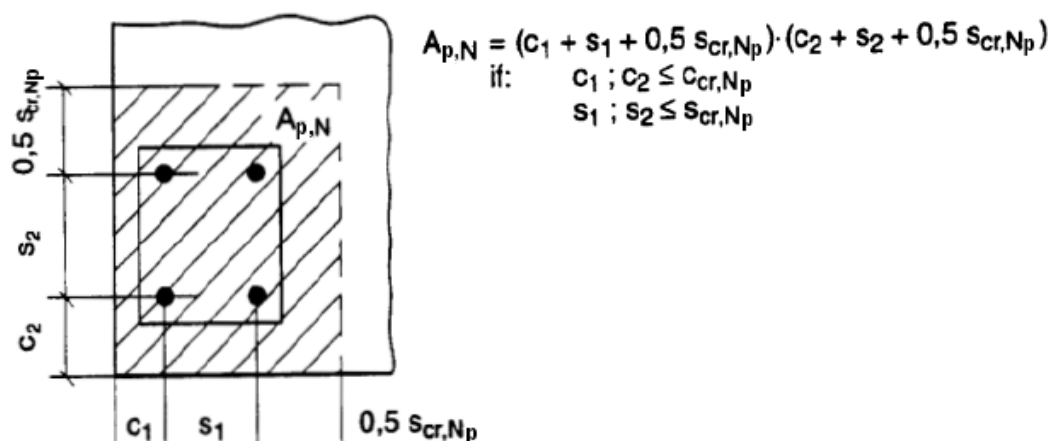


Figura 5.17 - Área real total de influência [6]

- C. O fator,  $\psi_{g,Np}$ , tem em consideração o efeito da rotura de superfície devido ao grupo de ancoragens:

$$\psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 - \left( \frac{s}{s_{cr,Np}} \right)^{0,5} \times (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1,0 \quad (5.6)$$

$$\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \times \left( \frac{d \times \tau_{Rk}}{k \times \sqrt{h_{ef} \times f_{ck,cube}}} \right)^{1,5} \geq 1,0 \quad (5.7)$$

s representa o valor médio de  $s_1$  e  $s_2$ .

n representa o número de ancoragens.

$$k = \begin{cases} 2,3 & \text{para aplicações em betão fendilhado} \\ 3,2 & \text{para betão fendilhado} \end{cases}$$

- D. Fator que tem em consideração a influência na distribuição de forças no betão devido aos bordos da peça de betão:

$$\psi_{s,Np} = 0,7 + 0,3 \times \frac{c}{c_{cr,Np}} \leq 1 \quad (5.8)$$

- E. Fator que tem em consideração o efeito dos diferentes níveis de tensão instaladas nas ancoragens pertencentes a um grupo de ancoragens:

$$\psi_{ec,Np} = \frac{1}{1 + 2 \times e_N / s_{cr,Np}} \leq 1 \quad (5.9)$$

$e_N$  representa a excentricidade resultante da força de tração atuante nas ancoragens tracionadas. Caso haja excentricidade nas duas direções,  $\psi_{ec,Np}$ , deverá ser determinado separadamente para cada direção e o produto desses dois fatores deverá ser inserido na equação.

- F. O fator de “Fendilhação de casca” (Shell spalling), tem em consideração a existência de um reforço de armaduras muito denso:

$$\psi_{re,Np} = 0,5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1 \quad (5.10)$$

$h_{ef}$  [mm]

Se, na área das ancoragens, existir um reforço de armaduras com um espaçamento igual ou superior a 150 mm (com um diâmetro qualquer), ou um diâmetro menor ou igual a 10 mm e um espaçamento de, pelo menos, 100 mm,  $\psi_{re,Np} = 1$ .

#### 5.2.2.6 Rotura por cone de betão

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \times \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \times \psi_{s,N} \times \psi_{ec,N} \times \psi_{re,N} \text{ [N]} \quad (5.11)$$

- A. O valor inicial da resistência característica de uma ancoragem:

$$N_{Rk,p}^0 = k_1 \times \sqrt{f_{ck,cube}} \times h_{ef}^{1,5} \quad (5.12)$$

$$f_{ck,cube} [N/mm^2]; h_{ef} [mm]$$

$$\begin{cases} k_1 = 7,2 \text{ para aplicações em betão fendilhado} \\ k_1 = 10,1 \text{ para aplicações em betão não fendilhado} \end{cases}$$

B. O efeito geométrico do espaçamento e da distância ao bordo também é considerado através da relação  $\frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0}$ , onde:

- $A_{c,N}^0$  é a área de influência de cálculo de uma ancoragem individual:  $A_{c,N}^0 = S_{cr,N} \times S_{cr,N}$ ,  $S_{cr,N} = 3 \times h_{ef}$
- $A_{c,N}$  é a área total real de influência obtida por sobreposição das áreas de influência adjacentes.
- $C_{cr,Np} = \frac{S_{cr,Np}}{2} [mm]$

Ver a figura associada ao cálculo de  $A_{p,N}$ .

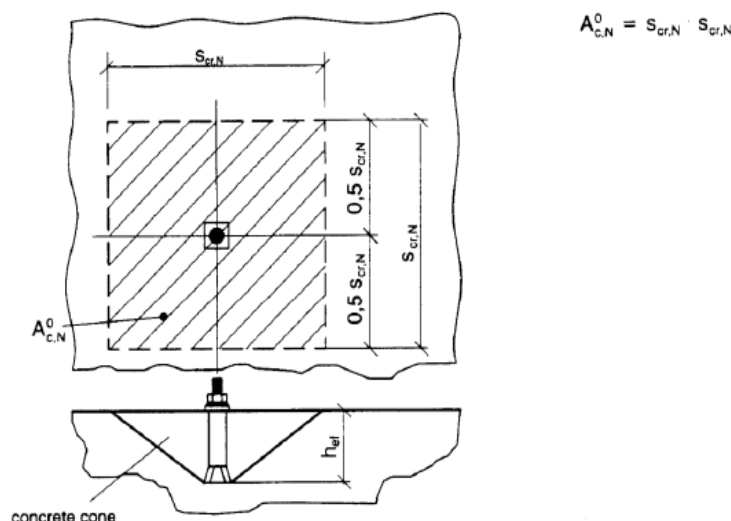


Figura 5.18 - Área de influência de cálculo para cone de betão [6]

C.  $\psi_{s,N}, \psi_{ec,N}, \psi_{re,N}$  calculam-se da mesma forma explicada para os casos anteriores

#### 5.2.2.7 Rotura por fendilhação ("Splitting Failure")

O EOTA TR029 define duas possibilidades para a ocorrência de fendilhação: devido a uma instalação negligente ou devido ao carregamento.

A fendilhação durante a fase de instalação é evitada se forem cumpridas todas as disposições da ETA relativamente ao espaçamento, distância ao bordo e espessura do membro de betão.

A resistência característica de uma ancoragem no caso de rotura por fendilhação quando submetida a um determinado carregamento é dada pela seguinte equação:

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c}^0 \times \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \times \psi_{s,N} \times \psi_{ec,N} \times \psi_{re,N} \times \psi_{h,N} [N] \quad (5.13)$$

$$\psi_{h,N} = \left(\frac{h}{h_{min}}\right)^{2/3}, \text{ com } 1 \leq \psi_{h,N} \leq \left(\frac{2 \times h_{ef}}{h_{min}}\right)^{2/3}$$

Com  $N_{Rk,c}^0$ ,  $\psi_{s,N}$ ,  $\psi_{ec,N}$ ,  $\psi_{re,N}$  calculadas da mesma forma indicada na rotura por cone de betão.  $A_{c,N}$ ,  $A_{c,N}^0$  da mesma forma que para o cone de betão, no entanto  $c_{cr,N}$  e  $s_{cr,N}$  devem ser substituídos por  $c_{cr,sp}$  e  $s_{cr,sp}$ .  $c_{cr,sp}$  e  $s_{cr,sp}$  são calculados conforme indicado na respetiva ETA.

Há, no entanto, algumas situações em que o cálculo da resistência à fendilhação pode ser omitido, que são:

- No caso de a distância ao bordo ser maior do que  $1,2 \times c_{cr,sp}$  em todas as direções e a profundidade do membro de betão ser maior que a profundidade mínima requerida ao mesmo em, pelo menos, duas vezes ( $h \geq 2 \times h_{min}$ );
- Se forem usadas ancoragens adequadas para betão fendilhado e se:
  - As armaduras presentes no membro de betão limitarem a abertura de fendas em 0,3 mm;
  - A resistência característica da rotura combinada por arranque e cone de betão tenha sido calculada para a condição fendilhada do betão.

#### 5.2.2.8 Rotura do aço devido a forças de corte

A resistência característica de uma ancoragem, neste caso, é dada pela seguinte equação:

$$V_{Rk,s} = 0,5 \times A_s \times f_{uk} \quad [N] \quad (5.14)$$

$V_{Rk,s}$  é dado na respetiva ETA

#### 5.2.2.9 Rotura do betão devido ao efeito “Pry-out”

O efeito “Pry-out” é um modo de rutura que ocorre no betão quando as ancoragens com profundidade de embebimento muito curta e com uma rigidez muito grande são solicitadas ao corte. O betão começa a ceder do lado oposto da direção do carregamento. A resistência característica em relação a este fenómeno é calculada da seguinte maneira:

$$V_{Rk,cp} = \min(k \times N_{Rk,p}; k \times N_{Rk,c}) \quad [N] \quad (5.15)$$

$N_{Rk,p}$  e  $N_{Rk,c}$  são calculados conforme exposto anteriormente.

$$k = \begin{cases} 1, & \text{se } h_{ef} < 60 \text{ mm} \\ 2, & \text{se } h_{ef} \geq 60 \text{ mm} \end{cases}$$

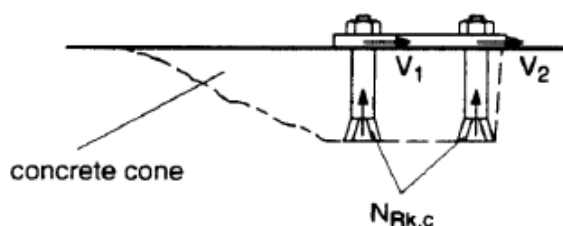


Figura 5.19 - Efeito Pry-out [6]

O efeito Pry-out é avaliado nas ancoragens mais desfavoráveis (neste caso são as que se situam mais perto do bordo).

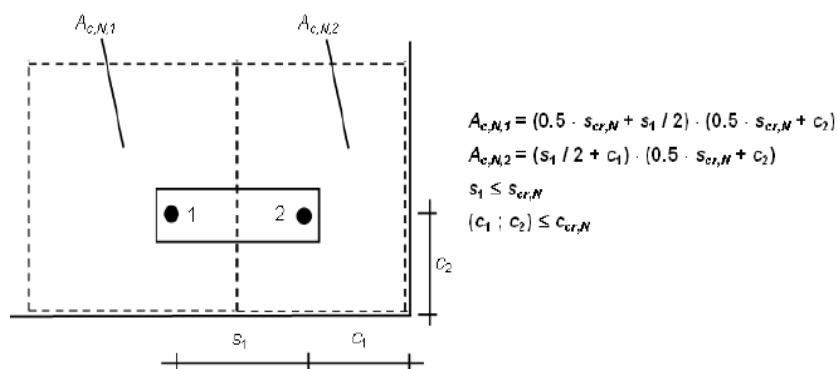


Figura 5.20 - Área real de cálculo para o efeito Pry-out [6]

#### 5.2.2.10 Rotura do bordo de betão

Este modo de rutura não precisa de ser verificado para grupos de 4 ancoragens quando a distância ao bordo em todas as direções é maior do que  $10h_{ef}$  e  $60d$ .

A resistência característica de uma ancoragem ou de um grupo de ancoragens em relação à rotura do bordo do betão é obtida pela seguinte equação:

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \times \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \times \psi_{s,V} \times \psi_{ec,V} \times \psi_{\alpha,V} \times \psi_{h,V} \times \psi_{re,V} \quad [N] \quad (5.16)$$

A. O valor inicial da resistência característica de uma ancoragem:

$$V_{Rk,c}^0 = k_1 \times d^\alpha \times h_{ef}^\beta \sqrt{f_{ck,cube}} \times c_1^{1,5} \quad [N] \quad (5.17)$$

$d, h_{ef}, c_1$  [mm];  $f_{ck,cube}$  [N/mm<sup>2</sup>]

$$k = \begin{cases} 1,7 & \text{para aplicações em betão fendilhado} \\ 2,4 & \text{para aplicações em betão não fendilhado} \end{cases}$$

$$\alpha = 0,1 \times \left(\frac{h_{ef}}{c_1}\right)^{0,5}; \beta = 0,1 \times \left(\frac{d}{c_1}\right)^{0,2}$$

B. O efeito geométrico do espaçamento, da distância ao bordo também e da espessura do membro de betão são considerados através da relação  $\frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0}$ , onde:

- $A_{c,V}^0$  é a área de influência de cálculo de uma ancoragem individual:  $A_{c,V}^0 = 4,5 \times c_1^2$ ;
- $A_{c,V}$  é a área total lateral real de influência obtida por sobreposição das áreas de influência adjacentes

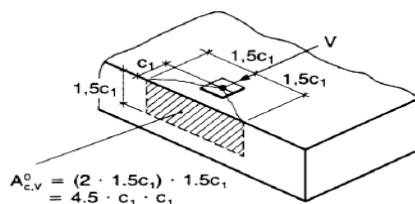


Figura 5.21 - Área de influência de cálculo para a rotura de bordo [6]



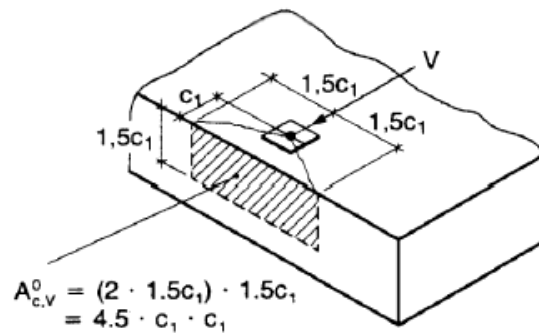


Figura 5.22 - Área real total de cálculo da rotura de bordo [6]

- C. Fator que tem em consideração a influência na distribuição de forças no betão devido aos bordos da peça de betão:

$$\psi_{s,Np} = 0,7 + 0,3 \times \frac{c_2}{1,5 \times c_1} \leq 1 \quad (5.18)$$

- D. Fator que tem em consideração o facto de que a resistência ao corte não reduz proporcionalmente em relação à espessura do membro de betão como assumido pelo rácio  $\frac{A_{c,v}}{A^0_{c,v}}$ :

$$\psi_{h,N} = \left( \frac{1,5 \times c_1}{h} \right)^{1/2} \geq 1 \quad (5.19)$$

- E. Fator que tem em consideração o ângulo  $\alpha_v$  entre a carga aplicada e a direção perpendicular ao bordo livre da peça de betão:

$$\psi_{\alpha,v} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_v)^2 + \left( \frac{\sin \alpha_v}{2,5} \right)^2}} \geq 1,0 \quad (5.20)$$

- F. Fator que tem em conta a excentricidade:

$$\psi_{ec,Np} = \frac{1}{1 + 2 \times e_v / (3c_1)} \leq 1 \quad (5.21)$$

- G.  $\psi_{re,v}=1,0$ , se se tratar de ancoragens aplicadas em betão não fendilhado e ancoragens em betão fendilhado e sem armadura de bordo.

$\psi_{re,v}=1,2$ , para ancoragens aplicadas em betão fendilhado com armaduras de bordo ( $\geq \phi 12$  mm).

$\psi_{re,v}=1,4$ , para ancoragens aplicadas em betão fendilhado com armadura de bordo e estribos com pouco espaçamento ( $a \leq 100$  mm)

#### 5.2.2.11 Rotura combinada entre tração e corte

$\beta_N(\beta_V)$  rácio entre as ações de cálculo e as resistências de cálculo à tração (corte). Serão tomados os maiores valores para cada rácio.

$$(\beta_N)^\alpha + (\beta_V)^\alpha \leq 1$$

$$\alpha = \begin{cases} 2 & \text{se } N_{Rd} \text{ e } V_{Rd} \text{ forem as resistências de cálculo do aço} \\ 1,5 & \text{para todos os outros modos de rutura} \end{cases}$$

#### 5.2.3 DIMENSIONAMENTO SEGUNDO PREN1992-4:2013

A prEN1992-4-2013 [43] é uma norma de dimensionamento com um campo de aplicação mais vasto que as normas referidas neste trabalho. Esta destina-se tanto a ancoragens químicas e mecânicas (elementos posteriormente instalados à betonagem) como, por exemplo, a chumbadouros e canais de ancoragem (elementos previamente instalados).

À semelhança do EOTA TR029, também aqui procurou-se fazer uma abordagem mais orientada para o caso prático que se está a estudar, não dando muita relevância as aspetos coincidentes com o a EOTA TR029.

##### 5.2.3.1 Conceito de dimensionamento

À semelhança do EOTA TR029 também terão de ser respeitadas as seguintes condições:

$$Sd \leq Rd \quad (5.22)$$

$$Rd = Rk/\gamma_M \quad (5.23)$$

##### 5.2.3.2 Estado Limite Último

Apenas é feita a verificação aos Estados Limites Últimos para carregamentos estáticos. Os fatores parciais de segurança são idênticos aos enumerados pelo EOTA TR029, no entanto, a prEN1992-4-2013 considera mais um modo de rotura, o “blow-out”.

Tabela 5.7 – Coeficientes parciais de segurança [5]

MODOS DE ROTURA		COEFICIENTE PARCIAL
Rotura do Aço (Dispositivos de ancoragem)	Axial	$\gamma_{Ms} = 1,2 \times f_{uk}/f_{yk} \geq 1,4$
	Corte com ou sem efeito de alavanca	$\gamma_{Ms} = 1 \times f_{uk}/f_{yk} \geq 1,25$ quando $\begin{cases} f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2 \\ e \\ f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8 \end{cases}$
		$\gamma_{Ms} = 1,5$ quando $\begin{cases} f_{uk} > 800 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ou} \\ f_{yk}/f_{uk} > 0,8 \end{cases}$
Rotura do Aço (Reforço)	Axial	$\gamma_{Ms, re} = 1,15$
Rotura do Betão (Axial)	Cone de betão	$\gamma_{Mc} = \gamma_c \times \gamma_{inst}$
	Rotura pelo bordo	$\gamma_c = \begin{cases} 1,5 \\ 1,0 \end{cases}$
	Rotura por "blow-out"	$\gamma_{inst} \geq 1,0$ para dispositivos instalados após betonagem
	Rotura por "pry-out"	
	Rotura por "splitting"	$\gamma_{Msp} = \gamma_{Mc}$
Rotura por "pull-out"	"Pull-out" e combinação de "pull-out" e cone de betão	$\gamma_{Mp} = \gamma_{Mc}$

### 5.2.3.3 Distribuição de cargas

O disposto nos títulos x e y também se aplica no dimensionamento pela prEN1992-4-2013. Acrescenta-se uma ilustração que a norma contém, por ser mais exemplificativa do distribuição das tensões à tração.

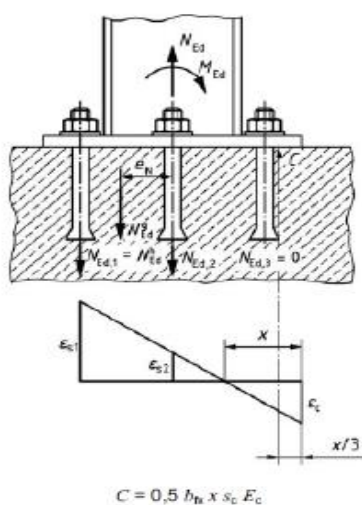


Figura 5.23 - Distribuição de forças de tração [43]

#### 5.2.3.4 Verificações de segurança à tração

Tabela 5.8 – Tabela de verificações de segurança [5]

	Dispositivo de ancoragem		
	Individual	Mais esforçado	Em grupo
Rotura do aço	$N_{Ed} \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	$N_{Ed}^h \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	
Rotura por “pull-out”	$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$	$N_{Ed}^h \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$	
Rotura por combinação dos fenómenos de “pull-out” e cone de betão	$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$
Rotura por cone de betão	$N_{Ed} \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$
Rotura por “splitting”	$N_{Ed} \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}}$
Rotura por “blow-out”	$N_{Ed} \leq N_{Rd,cb} = \frac{N_{Rk,cb}}{\gamma_{Mc}}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,cb} = \frac{N_{Rk,cb}}{\gamma_{Mc}}$
Rotura do aço da armadura existente no elemento de betão	$N_{Ed,re} \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$	$N_{Ed,re}^h \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$	
Rotura da ancoragem da armadura existente no elemento de betão	$N_{Ed,re} \leq N_{Rd,a}$	$N_{Ed,re}^h \leq N_{Rd,a}$	

### 5.2.3.5 Rotura combinada arranque e cone de betão

A forma de cálculo é na sua maioria idêntica à forma de cálculo exposta no TR029, apenas muda ligeiramente o cálculo do fator,  $\psi_{g,Np}$ , que tem em consideração o efeito da rotura de superfície devido ao grupo de ancoragens:

$$\psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 - \left( \frac{s}{s_{cr,Np}} \right)^{0,5} \times (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1,0 \quad (5.24)$$

$$\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \times \left( \frac{\pi \times d \times \tau_{Rk}}{k_8 \times \sqrt{h_{ef} \times f_{ck}}} \right)^{1,5} \geq 1,0 \quad (5.25)$$

s representa o valor médio de  $s_1$  e  $s_2$ .

n representa o número de ancoragens.

$f_{ck,cube}$  [N/mm<sup>2</sup>];  $h_{ef}$  e d [mm]

$$k_8 = \begin{cases} 7,7 & \text{para aplicações em betão fendilhado} \\ 10,1 & \text{para betão fendilhado} \end{cases}$$

### 5.2.3.6 Rotura por cone de betão

Aqui também algumas alterações a apontar. São estas:

- A resistência característica inicial é calculada da seguinte forma:

$$N_{Rk,p}^0 = k_9 \times \sqrt{f_{ck}} \times h_{ef}^{1,5} \quad (5.26)$$

$$k_9 = \begin{cases} 7,7 & \text{para aplicações em betão fendilhado} \\ 11 & \text{para aplicações em betão não fendilhado} \end{cases}$$

- E adicionado à expressão do cálculo da resistência característica, sob a forma de produto, mais um fator,  $\psi_{M,N}$ , que tem em consideração o efeito da força de compressão entre a chapa de fixação e o betão:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \times \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \times \psi_{s,N} \times \psi_{ec,N} \times \psi_{re,N} \times \psi_{M,N} \text{ [N]} \quad (5.27)$$

$$\psi_{M,N} = \begin{cases} 1, & \text{para ancoragens perto do bordo } c \leq 1,5h_{ef} \\ 2 - 0,67 \times \frac{z}{h_{ef}} \geq 1, & \text{para todos os outros casos} \end{cases}$$

### 5.2.3.7 Rotura por fendilhação

Aplica-se o disposto na ponto z. No entanto a prEN1992-4-2013 especifica a quantidade de armadura a colocar para mitigar ou eliminar o efeito de fendilhação:

$$A_s = k_{12} \frac{\sum Ned}{f_{yk}/M_{s,re}} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (5.28)$$

$$k_{12} = 0,5 \text{ para ancoragens químicas}$$

#### 5.2.3.8 “Blow.out”

O fenómeno “Blow-out” não ocorre em ancoragens instaladas posteriormente.

#### 5.2.3.9 Armaduras suplementares

A norma prEN1992-4-2013 define o uso de armaduras suplementares e estas, se forem dimensionadas para tal, podem prevenir a rotura por cone de betão. Para isso é preciso verificar-se os seguintes pontos:

- O dimensionamento da ligação tem de estar assente na armadura suplementar;
- Usar o mesmo diâmetro em toda a armadura suplementar;
- O diâmetro não poderá ser superior a 16 mm e deve ser detalhado em forma de estribos ou cintagem helicoidal;
- A armadura deve ser colocada de forma simétrica o mais perto possível das ancoragens para evitar excentricidades

O valor da resistência característica de uma armadura suplementar de uma ancoragem é:

$$N_{Rk,re} = n_{re} \times A_{s,re} \times f_{yk,re} \quad (5.29)$$

O valor da resistência de cálculo de uma armadura suplementar associado à rotura de uma ancoragem devido ao efeito de cone de betão:

$$N_{Rd,a} = \sum_{n_{re}} \frac{l_1 \times d_s \times \pi \times f_{bd}}{\alpha} \quad (5.30)$$

### 5.2.3.10 Verificações de segurança ao corte

Tabela 5.9 – Verificações de segurança ao corte [5]

	Dispositivo de ancoragem		
	Individual	Mais esforçado	Em grupo
Rotura do aço pelo dispositivo de ancoragem sem efeito de alavanca	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s,m}}{\gamma_{Ms}}$	$V_{Ed}^h \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s,m}}{\gamma_{Ms}}$	
Rotura do aço pelo dispositivo de ancoragem com efeito de alavanca	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	$V_{Ed}^h \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	
Rotura do betão pelo bordo	$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$		$V_{Ed}^g \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$
Rotura do betão por “ <i>pry-out</i> ”	$V_{Ed} \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}}$		$V_{Ed}^g \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}}$
Rotura do aço da armadura existente no elemento de betão	$V_{Ed,re} \leq V_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$	$V_{Ed,re}^h \leq V_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$	
Rotura da ancoragem da armadura existente no elemento de betão	$V_{Ed,re} \leq N_{Rd,a}$	$V_{Ed,re}^h \leq N_{Rd,a}$	

#### 5.2.3.11 Rotura do aço ao corte

O cálculo é igual ao disposto na norma anterior, para o caso sem efeito alavanca. Recorde-se que o no caso prático não existe efeito alavanca

#### 5.2.3.12 Rotura devido ao efeito “*Pry.out*”

Neste caso apenas é tido em consideração a resistência característica à rotura por cone de betão,  $N_{Rk,c}$ . Relativamente ao valor de  $k$ , a norma refere que deve ser retirada da respetiva ETA, no entanto, caso existam armaduras suplementares, deverá assumir o valor de 0,75.

#### 5.2.3.13 Rotura do bordo de betão

O cálculo também é feita da mesma forma que no relatório EOTA TR029. Contudo, o parâmetro  $f_{ck,cube}$  deverá ser substituído por  $f_{ck}$  e o parâmetro  $h_{ef}$  por  $l_f$ , no cálculo de  $\alpha$ .

#### 5.2.3.14 Armadura suplementar

O procedimento para calcular as armaduras suplementares é quase idêntico ao caso da tração (segundo a presente norma) e, se dimensionadas para tal, poderão eliminar a rotura por cone de betão (o método de cálculo é o mesmo que para o caso à tração).

A resistência característica da armadura suplementar é calculada através da seguinte equação:

$$N_{Rk,re} = k_6 \times n_{re} \times A_{s,re} \times f_{yk,re} \quad (5.31)$$

#### 5.2.3.15 Rotura combinada entre corte e tração

A forma de cálculo especificada no relatório EOTA TR029 para esta situação também se aplica na presente norma.

### 5.3 DADOS PARA O CÁLCULO

Tabela 5.10 – Esforços máximos instalados no Perfil PRS 550x415x15

	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)	Mz (kN.m)
máximo+	2,17	9,01	54,1	0,07	86,73	16,06
mínimo +	0	0,01	20,36	0	0,01	0,02
mínimo -	0	-0,02	-48,16	0	-48,8	-0,04
máximo -	-2,92	-5,59	-48,16	-0,1	-110,58	-10,71

Tabela 5.11 - Esforços máximos instalados no Perfil PRS ( C ) 550x415x15

	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)	Mz (kN.m)
máximo+	3,27	2,17	56,7	0,04	110,58	3,34
mínimo +	0	0	30,66	0	71,45	0
mínimo -	0	0	-36,76	0	-67,66	0
máximo -	-2,87	-2,04	-51,66	-0,04	-110,58	-3,15

Tabela 5.12 - Esforços máximos instalados no Perfil IPE 330

	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)	Mz (kN.m)
máximo+	2,52	0,37	46,82	0,01	-58,02	0,51
mínimo +	0,01	0,02	36,75	0	0	0,03
mínimo -	-0,01	-0,01	0	0	-58,02	-0,01
máximo -	-1,25	-0,39	36,75	0	-58,02	-0,54

Tabela 5.13 - Dados adicionais

Informações gerais										
$F_{ck}$ (MPa)	$F_{ck,cube}$ (MPa)	$F_{yk}$ (MPa)	$E_c$ (MPa)	$E_a$ (MPa)	$h_{ef}$ (mm)	$\phi$ (mm)	$S_{min}$ (mm)	$C_{min}$ (mm)	$b_{laje}$ (mm)	$h_{laje}$ (mm)
30	37	640	33	210	250	16	80	80	450	550



Tabela 5.14 - Dimensões dos perfis

PRS 550x415x15			PRS C 550x215x15			IPE 330		
b (mm)	h (mm)	e (mm)	b (mm)	h (mm)	e (mm)	b (mm)	h (mm)	e (mm)
415	550	20	415	550	20	320	550	15

#### 5.4 SOLUÇÕES DO PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Como referido anteriormente, recorreu-se à distribuição elástica para calcular as forças de tração instaladas nas ancoragens, e à informação exposta na ETA para verificar se essas tensões eram admissíveis.

Resolvendo o seguinte sistema de equações, de forma iterativa, obter-se-á uma solução adequada ao problema.

$$\begin{cases} -f_c + f_{s1} + f_{s2} = 0 \\ f_c \times z_c + f_{s1} \times z_{s1} + f_{s2} \times z_{s2} = M_{ed} \end{cases} \quad (5.32)$$

$$f_c = 0,5 \times x \times b \times \sigma_c \quad (5.33)$$

$$f_{s1} = n_1 \times \pi \times \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 \times \sigma_c \times \left(\frac{d_1 - x}{x}\right) \times \left(\frac{E_a}{E_c}\right) \quad (5.34)$$

$$f_{s2} = n_2 \times \pi \times \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 \times \sigma_c \times \left(\frac{d_2 - x}{x}\right) \times \left(\frac{E_a}{E_c}\right) \quad (5.35)$$

$$z_c = 2/3x \quad (5.36)$$

$$z_{s1} = d_1 - x \quad (5.37)$$

$$z_{s2} = d_2 - x \quad (5.38)$$

Tabela 5.15 - Soluções de pré-dimensionamento

PRS 550x415x15									
Hip	$n_1$	$d_1$ (m)	$n_2$	$d_2$ (m)	$M_{ed}$ (kN.m)	$X$ (m)	$\sigma_c$ (kPa)	$f_{s1}$ (kN)	$f_{s2}$ (kN)
1	0	0	2	0,465	111	0,0698	17346,9294	0,0000	125,6425
2	0	0	3	0,465	111	0,0840	14579,8451	0,0000	84,6654
3	0	0	4	0,465	111	0,0955	12935,2788	0,0000	64,0616
4	2	0,2675	4	0,465	111	0,1044	13009,4924	25,9943	57,4760

PRS C 550x215x15									
Hip	$n_1$	$d_1$ (m)	$n_2$	$d_2$ (m)	$M_{ed}$ (kN.m)	$X$ (m)	$\sigma_c$ (kPa)	$f_{s1}$ (kN)	$f_{s2}$ (kN)
1	0	0	2	0,465	111	0,0698	17346,9294	0,0000	125,6425
2	0	0	3	0,465	111	0,0840	14579,8451	0,0000	84,6654
3	0	0	4	0,465	111	0,0955	12935,2788	0,0000	64,0616
4	2	0,2675	4	0,465	111	0,1044	13009,4924	25,9943	57,4760

IPE 330									
Hip	$n_1$	$d_1$ (m)	$n_2$	$d_2$ (m)	$M_{ed}$ (kN.m)	$X$ (m)	$\sigma_c$ (kPa)	$f_{s1}$ (kN)	$f_{s2}$ (kN)
1	0	0	2	0,465	59	0,0940	10690,1623	0,0000	67,2294
2	0	0	3	0,465	59	0,0943	9018,8211	0,0000	45,3603
3	2	0,2675	3	0,465	59	0,1058	9069,8853	17,7254	39,3804

De notar que os  $f_{si}$  que constam nas tabelas correspondem às forças instaladas em cada ancoragem, ao contrário do que indicam as equações.

O número de varões instalados na parte superior da peça é o correspondente à hipótese 3 para os perfis PRS e PRS C e no caso do perfil IPE 330 é o correspondente à hipótese 2, todos com uma distância ao bordo superior de 70 mm.

As forças de corte instaladas em cada elemento fixador (neste caso tanto as ancoragens como os varões suportam a carga) estão expostas nas tabelas abaixo

Tabela 5.16 - Esforços de corte atuantes em cada ancoragem

PRS 550x415x15				PRS C 550x215x15				IPE 330			
Hip	n	$V_{ed}$	$V_s$	Hip	n	$V_{ed}$	$V_s$	Hip	n	$V_{ed}$	$V_s$
1	4	49	12,2500	1	4	57	14,2500	1	4	47	11,7500
2	6	49	8,1667	2	6	57	9,5000	2	6	47	7,8333
3	8	49	6,1250	3	8	57	7,1250	3	8	47	5,8750
4	10	49	4,9000	4	10	57	5,7000				

As soluções escolhidas para cada caso são as últimas hipóteses de cada casa. Tendo em consideração as informações expostas na ETA, as ancoragens não sofrem rotura no aço devido à tração ou ao corte,

Tabela 5.17 - Dados para a verificação ao corte

Parâmetros resistentes					
$F_{ck}$ (MPa)	$F_{yk}$ (MPa)	$F_{ctk0,05}$ (MPa)	$\tau_1$ (MPa)		
30	500	2	0,75		
Dimensões					
d (mm)	$b_w$ (mm)	h (mm)	$b_{chapa}$ (mm)	$h_{pun}$ (mm)	$d_{face,sup}$ (mm)
500	450	550	415	200	400
Outros parâmetros					
$\cot \theta$	$\alpha$ (°)	$\Theta$ (°)			
1,25	90	36,8699			
Esforços na viga					
$V_{ed}$ (kN)	$T_{ed}$ (kN.m)	$V_{ed,pun}$ (kN)			
28,5	61,9125	222			

A seguir apresentam-se os cálculos para as armaduras da viga.

Tabela 5.18 - Armaduras de esforço transversal

Esforço Transverso			
Betão		Armadura	
k	1,6325	$(A_{sw}/s)_v$ ( $cm^2/m$ )	0,6158
$\rho_1$	0,0200	$sl_{max}$ (m)	0,3750
$v_{min}$	0,3998	$st_{max}$ (m)	0,3750
$V_{rd,c min}$ (kN)	89,9649	$v_1$	0,5280
$V_{rd,c}$ (kN)	172,5529	$V_{rd,c max}$ (kN)	1043,1220

Tabela 5.19 - Armaduras de torção

Torção			
Betão		Armauras	
$t_{ef,i}$ (m)	0,1238	$(A_{sw}/s)_t$ ( $cm^2/m$ )	4,0959
$A_k$ ( $m^2$ )	0,1391	$(A_{sw}/s)_{v+t}$ ( $cm^2/m$ ) p/estri	4,4038
$u_k$ (m)	1,5050	$A_{sus}$ ( $cm^2/m$ )	2,7412
$T_{rd,c}$ (kN.m)	45,8911	$(A_{sw}/s)_{total}$ ( $cm^2/m$ )	11,5489
$V_{ed}/V_{rd,c} + T_{ed}/T_{rd,c}$	1,5143		
$T_{rd,max}$ (kN.m)	174,4598		
$V_{ed}/V_{rd,max} + T_{ed}/T_{rd,max}$	0,3822		

Tabela 5.20 - Armadura de punçoamento

Punçoamento			
EC2		REBAP	
$u_{pilar}$ (m)	1,23	$u$ (m)	2,03
$A_{pilar}$ (m <sup>2</sup> )	0,492	$\eta$	1,2
$V_{ed,pilar}$ (MPa)	0,45122	$V_{rd}$ (kN)	730,8
$V_{rd,max}$ (MPa)	4,224		
$k$	1,632456		
$\rho_1$	0,02		
$V_{rd,c\ min}$ (MPa)	0,399844		
$V_{rd,c}$ (MPa)	0,766902		

Portanto, segundo o pré-dimensionamento, tem de se acrescentar uma armadura de 11,55 cm<sup>2</sup>/m, o que corresponde a 4 ramos de  $\phi 8//0,15$  ( $A_s = 13,4\text{ cm}^2$ ). No entanto vai optar-se por colocar  $\phi 8//0,10$  ( $A_s = 20,1\text{ cm}^2$ ).

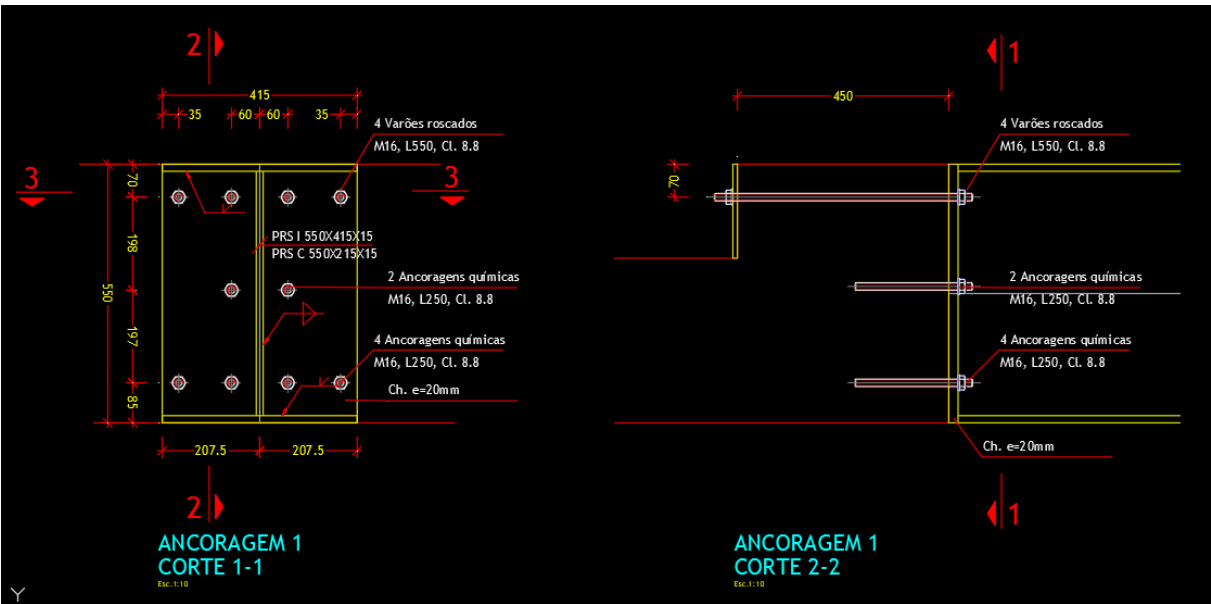


Figura 5.24 - Solução de pré-dimensionamento ancoragens referente aos perfis PRS e PRS C

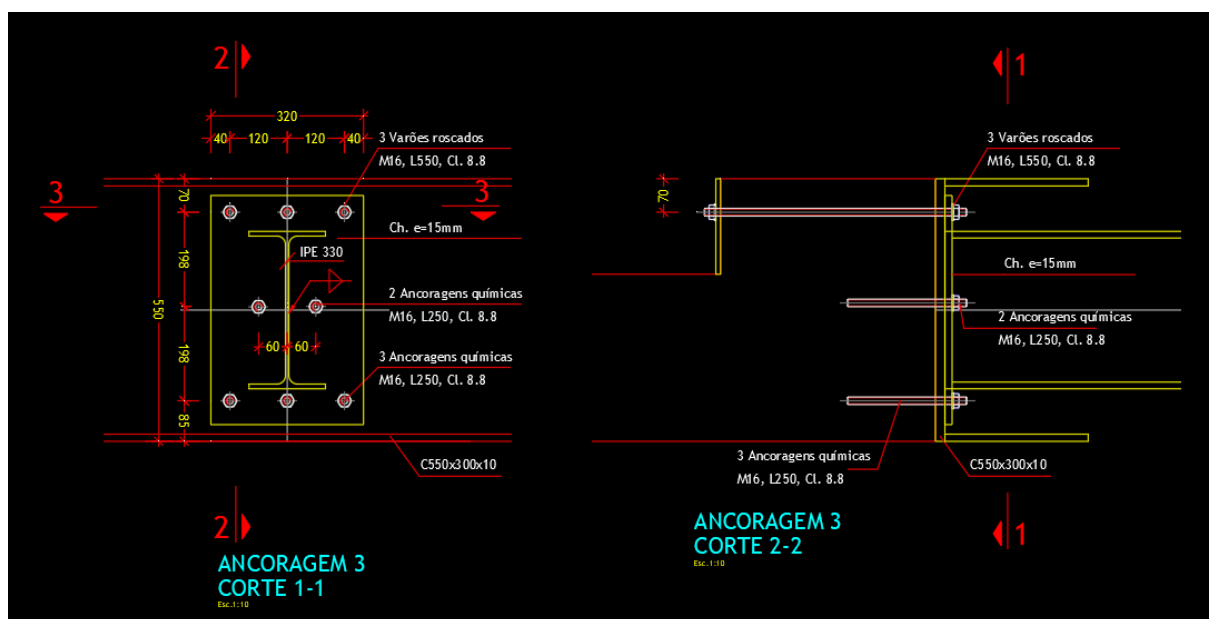


Figura 5.25 - Solução de pré-dimensionamento ancoragens referente aos perfil IPE

## 5.5 DIMENSIONAMENTO SEGUNDO O EOTA TR029

### 5.5.1 PERFIL PRS 550X415X15

Tabela 5.21 - Verificação de segurança à rotura combinada de tração e corte segundo o EOTA TR029

$\beta_{N1}$	$\beta_{N2}$	$\beta_{N3}$	$\beta_{N4}$	$\beta_{N,max}$
0,6842	1,3186	2,1895	1,4192	2,1895
$\beta_{V1}$	$\beta_{V2}$	$\beta_{V3}$	$\beta_{V,max}$	
0,1073	0,1122	0,5947	0,5947	
$(\beta_N + \beta_V) \leq 1,2$				
2,3201				
$\alpha$	$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1$			
1,5	3,6983			



Tabela 5.22 - Verificação de segurança à tração e ao corte segundo o EOTA TR029

$\tau_{Rk,ucr}$	$\tau_{Rk,ucr}, 25$	$N_{Rk,p}^0$	$S_{cr,Np}$	$C_{cr,Np}$	$A_{p,N}^0$	$A_{p,N}$	$\psi_{s,Np}$	$k$	$\psi_{g,Np}^0$	$\psi_{g,Np}$	$\psi_{ec1,Np}$	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{re,Np}$	$N_{Rk,p}$
18,79	18	236,1221	495,7419	247,8709	245760	406418,4850	0,8029	3,2	1,0501	1,0229	1	1	1	320,6830
$k_1$	$N_{Rk,p}^0$	$S_{cr,N}$	$C_{cr,Np}$	$A_{c,N}^0$	$A_{c,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{ec1,N}$	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{re,N}$	$N_{Rk,c}$				
10,1	242,8467	750	375	562500	582460	0,768	1	1	1	193,1244				
$N_{Rk,c}^0$	$S_{cr,sp}$	$C_{cr,sp}$	$A_{c,N}^0$	$A_{c,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{ec1,N}$	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{re,N}$	$\psi_{h,N}$	$N_{Rk,sp}$				
242,8467	680	340	462400	536050	0,7750	1	1	1	1,3656	297,9411				
Tração Aço		Rotura combinada		Cone de betão		Fendilhação								
$N_{Sd}$ (kN)	57,4760	$N_{Sd}$ (kN)	281,8924	$N_{Sd}$ (kN)	281,8924	$N_{Sd}$ (kN)	281,8924							
$N_{Rd,s}$ (kN)	84	$N_{Rd,p}$ (kN)	213,7886	$N_{Rd,c}$ (kN)	128,7496	$N_{Rd,sp}$ (kN)	198,6274							
Corte Aço (Anc. apenas)														
$V_{Sd,s}$ (kN)	$V_{Rk,s}$ (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)												
5,4100	63	50,4												
Pry-out														
$V_{Sd,s}$ (kN)	$k$	$N_{Rk,p}$ (kN)	$N_{Rk,c}$ (kN)	$V_{Rd,cp}$ (kN)										
28,896	2	320,6830	193,1244	257,4991										
Concrete cone Edge														
$V_{Sd,s}$ (kN)	lf (mm)	$k_1$	$\alpha$	$\beta$	$V_{Rk,c}^0$ (kN)	$A_{c,V}^0$	$A_{c,V}$	$\psi_{s,V}$	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{h,V}$	$\psi_{re,V}$	$\alpha_v$ (rad)	$\psi_{\alpha,V}$	$V_{Rd,c}$
24,08	192	2,4	0,1503	0,0716	25,7701	32512,5	76627,5	1	1	1	1	3,1416	1	40,4910



## 5.5.2 PERFIL PRS C 550x215x15

Tabela 5.23 - Verificação de segurança à rotura combinada de corte e tração segundo o EOTA TR029

$\beta_{N1}$	$\beta_{N2}$	$\beta_{N3}$	$\beta_{N4}$	$\beta_{N,max}$
0,6842	1,3186	2,1895	1,4192	2,1895
$\beta_{V1}$	$\beta_{V2}$	$\beta_{V3}$	$\beta_{V,max}$	
0,1125	0,1204	0,6379	0,6379	
$(\beta_N + \beta_V) \leq 1,2$				
2,9380				
$\alpha$	$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1$			
1,5	3,7492			

Tabela 5.24 - Verificação de segurança à tração e ao corte segundo o EOTA TR029

$\tau_{Rk,ucr}$	$\tau_{Rk,ucr}, 25$	$N_{Rk,p}^0$	$S_{cr,Np}$	$C_{cr,Np}$	$A_{p,N}^0$	$A_{p,N}$	$\psi_{s,Np}$	$k$	$\psi_{g,Np}^0$	$\psi_{g,Np}$	$\psi_{ec1,Np}$	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{re,Np}$	$N_{Rk,p}$
18,79	18	236,1221	495,7419	247,8709	245760	406418,4850	0,8029	3,2	1,0501	1,0229	1	1	1	320,6830

$k_1$	$N_{Rk,p}^0$	$S_{cr,N}$	$C_{cr,Np}$	$A_{c,N}^0$	$A_{c,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{ec1,N}$	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{re,N}$	$N_{Rk,c}$
10,1	242,8467	750	375	562500	582460	0,768	1	1	1	193,1244

$N_{Rk,c}^0$	$S_{cr,sp}$	$C_{cr,sp}$	$A_{c,N}^0$	$A_{c,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{ec1,N}$	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{re,N}$	$\psi_{h,N}$	$N_{Rk,sp}$
242,8467	680	340	462400	536050	0,7750	1	1	1	1,3656	297,9411

Tração Aço		Rotura combinada		Cone de betão		Fendilhação	
$N_{Sd}$ (kN)	57,4760	Ned (kN)	281,8924	$N_{Sd}$ (kN)	281,8924	$N_{Sd}$ (kN)	281,8924
$N_{Rd,s}$ (kN)	84	Nrd,p (kN)	213,7886	$N_{Rd,c}$ (kN)	128,7496	$N_{Rd,sp}$ (kN)	198,6274

Corte Aço (Anc. apenas)		
$V_{Sd,s}$ (kN)	$V_{Rk,s}$ (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)
5,6700	63	50,4

Pry-out				
$V_{Sd,s}$ (kN)	$k$	$N_{Rk,p}$ (kN)	$N_{Rk,c}$ (kN)	$V_{Rd,cp}$ (kN)
30,996	2	320,6830	193,1244	257,4991

Concrete cone Edge														
$V_{Sd,s}$ (kN)	lf (mm)	$k_1$	$\alpha$	$\beta$	$V_{Rk,c}^0$ (kN)	$A_{c,V}^0$	$A_{c,V}$	$\psi_{s,V}$	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{h,V}$	$\psi_{re,V}$	$\alpha_v$ (rad)	$\psi_{\alpha,V}$	$V_{Rd,c}$
25,83	192	2,4	0,1503	0,0716	25,7701	32512,5	76627,5	1	1	1	1	3,1416	1	40,4910

### 5.5.3 PERFIL IPE 330

Tabela 5.25 - Verificação de segurança à rotura combinada à tração e ao corte segundo o EOTA TR029

$\beta_{N1}$	$\beta_{N2}$	$\beta_{N3}$	$\beta_{N4}$	$\beta_{N,max}$
0,4688	0,7890	1,3019	0,8442	1,3019
$\beta_{V1}$	$\beta_{V2}$	$\beta_{V3}$	$\beta_{V,max}$	
0,0929	0,1191	0,1132	0,1191	
$(\beta_N + \beta_V) \leq 1,2$				
1,1842				
$\alpha$	$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1$			
1,5	1,5266			

Tabela 5.26 - Verificação de segurança à tração e ao corte segundo o EOTA TR029

$\tau_{Rk,ucr}$	$\tau_{Rk,ucr}, 25$	$N_{Rk,p}^0$	$S_{cr,Np}$	$C_{cr,Np}$	$A_{p,N}^0$	$A_{p,N}$	$\psi_{s,Np}$	$k$	$\psi_{g,Np}^0$	$\psi_{g,Np}$	$\psi_{ec1,Np}$	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{re,Np}$	$N_{Rk,p}$
18,79	18	236,1221	495,7419	247,8709	245760	371134	0,8029	3,2	1,0427	1,0199	1	1	1	291,9858
$k_1$	$N_{Rk,p}^0$	$S_{cr,N}$	$C_{cr,Np}$	$A_{c,N}^0$	$A_{c,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{ec1,N}$	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{re,N}$	$N_{Rk,c}$				
10,1	242,8467	750	375	562500	533700	0,7680	1,000	1,000	1,000	176,9571				
$N_{Rk,c}^0$	$S_{cr,sp}$	$C_{cr,sp}$	$A_{c,N}^0$	$A_{c,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{ec1,N}$	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{re,N}$	$\psi_{h,N}$	$N_{Rk,sp}$				
242,8467	680	340	462400	491000	0,7750	1,000	1,000	1,000	1,3656	272,9018				
Tração Aço		Rotura combinada		Cone de betão		Fendilhação								
$N_{Sd}$ (kN)	39,3804	$N_{Sd}$ (kN)	153,5918	$N_{Sd}$ (kN)	153,5918	$N_{Sd}$ (kN)	153,5918							
$N_{Rd,s}$ (kN)	84	$N_{Rd,p}$ (kN)	194,6572	$N_{Rd,c}$ (kN)	117,9714	$N_{Rd,sp}$ (kN)	181,9346							
Corte Aço (Anc. apenas)														
$V_{Sd,s}$ (kN)	$V_{Rk,s}$ (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)												
4,6820	63	50,4												
Pry-out														
$V_{Sd,s}$ (kN)	$k$	$N_{Rk,p}$ (kN)	$N_{Rk,c}$ (kN)	$V_{Rd,cp}$ (kN)										
28,092	2	291,9858	176,9572	235,9429										
Concrete cone Edge														
$V_{Sd,s}$ (kN)	lf (mm)	$k_1$	$\alpha$	$\beta$	$V_{Rk,c}^0$ (kN)	$A_{c,V}^0$	$A_{c,V}$	$\psi_{s,V}$	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{h,V}$	$\psi_{re,V}$	$\alpha_v$ (rad)	$\psi_{\alpha,V}$	$V_{Rd,c}$
15,61	192	2,4	0,0859	0,0573	106,5481	32512,5	63112,5	1	1	1	1	3,1416	1	137,8858

## 5.6 DIMENSIONAMENTO SEGUNDO O PREN1992-4:2013

### 5.6.1 PERFIL PRS 550X415X15

Tabela 5.27 - Verificação de segurança à rotura combinada à tração e ao corte segundo o prEN1992-4:2013

$\beta_{N1}$	$\beta_{N2}$	$\beta_{N3}$	$\beta_{N4}$	$\beta_{N,max}$
0,6842	1,3374	2,2326	1,9762	2,2326
$\beta_{V1}$	$\beta_{V2}$	$\beta_{V3}$	$\beta_{V,max}$	
0,1073	0,1144	0,5947	0,5947	
$(\beta_N + \beta_V) \leq 1,2$				
2,3561				
$\alpha$	$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1$			
1,5	3,7945			

Tabela 5.28 - Verificação de segurança à rotura à tração e ao corte segundo o prEN1992-4:2013

$\tau_{Rk,ucr}$	$\tau_{Rk,ucr,25}$	$N_{Rk,p}^0$	$S_{cr,Np}$	$C_{cr,Np}$	$A_{p,N}^0$	$A_{p,N}$	$\psi_{s,Np}$	$k_8$	$\psi_{g,Np}^0$	$\psi_{g,Np}$	$\psi_{ec1,Np}$	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{re,Np}$	$N_{Rk,p}$
18,79	18	236,1221	495,7419	247,8709	245760	406418,4850	0,8029	11	1,0185	1,0085	1	1	1	316,1649

$k_9$	$N_{Rk,p}^0$	$S_{cr,N}$	$C_{cr,Np}$	$A_{c,N}^0$	$A_{c,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{ec1,N}$	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{re,N}$	$\psi_{M,N}$	$N_{Rk,c}$
11	238,1570	750	375	562500	582460	0,7680	1	1	1	1	189,3948

$N_{Rk,c}^0$	$S_{cr,sp}$	$C_{cr,sp}$	$A_{c,N}^0$	$A_{c,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{ec1,N}$	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{re,N}$	$\psi_{h,N}$	$N_{Rk,sp}$
238,1570	680	340	462400	536050	0,7750	1	1	1	1,3656	213,9698

Tração Aço		Rotura combinada		Cone de betão		Fendilhação	
$N_{Sd}$ (kN)	57,4760	$N_{Sd}$ (kN)	281,8924	$N_{Sd}$ (kN)	281,8924	$N_{Sd}$ (kN)	281,8924
$N_{Rd,s}$ (kN)	84	$N_{Rd,p}$ (kN)	210,7766	$N_{Rd,c}$ (kN)	126,2632	$N_{Rd,sp}$ (kN)	142,6465

Corte Aço (Anc. apenas)			
$V_{Sd,s}$ (kN)	$k_{50}$	$V_{Rk,s}$ (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)
5,4100	0,5	63	50,4

Pry-out			
$V_{Sd,s}$ (kN)	$k_3$	$N_{Rk,c}$ (kN)	$V_{Rd,cp}$ (kN)
28,896	2	189,3948	252,5264

Concrete cone Edge														
$V_{Sd,s}$ (kN)	lf (mm)	$k_1$	$\alpha$	$\beta$	$V_{Rk,c}^0$ (kN)	$A_{c,V}^0$	$A_{c,V}$	$\psi_{s,V}$	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{h,V}$	$\psi_{re,V}$	$\alpha_v$ (rad)	$\psi_{\alpha,V}$	$V_{Rd,c}$
24,08	192	2,4	0,1503	0,0716	25,7701	32512,5	76627,5	1	1	1	1	3,1416	1	40,4910

## 5.6.2 PERFIL PRS C 550x215x15

Tabela 5.29 - Verificação de segurança à rotura combinada à tração e ao corte segundo o prEN1992-4:2013

$\beta_{N1}$	$\beta_{N2}$	$\beta_{N3}$	$\beta_{N4}$	$\beta_{N,max}$
0,6842	1,3374	2,2326	1,9762	2,2326
$\beta_{V1}$	$\beta_{V2}$	$\beta_{V3}$	$\beta_{V,max}$	
0,1073	0,1144	0,5947	0,5947	
$(\beta_N + \beta_V) \leq 1,2$				
2,3561				
$\alpha$	$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1$			
1,5	3,7945			

Tabela 5.30 - Verificação de segurança à rotura à tração e ao corte segundo o prEN1992-4:2013

$\tau_{Rk,ucr}$	$\tau_{Rk,ucr,25}$	$N_{Rk,p}^0$	$S_{cr,Np}$	$C_{cr,Np}$	$A_{p,N}^0$	$A_{p,N}$	$\psi_{s,Np}$	$k_8$	$\psi_{g,Np}^0$	$\psi_{g,Np}$	$\psi_{ec1,Np}$	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{re,Np}$	$N_{Rk,p}$
18,79	18	236,1221	495,7419	247,8709	245760	406418,4850	0,8029	11	1,0185	1,0085	1	1	1	316,1649
$k_9$	$N_{Rk,p}^0$	$S_{cr,N}$	$C_{cr,Np}$	$A_{c,N}^0$	$A_{c,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{ec1,N}$	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{re,N}$	$\psi_{M,N}$	$N_{Rk,c}$			
11	238,1570	750	375	562500	582460	0,7680	1	1	1	1	189,3948			
$N_{Rk,c}^0$	$S_{cr,sp}$	$C_{cr,sp}$	$A_{c,N}^0$	$A_{c,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{ec1,N}$	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{re,N}$	$\psi_{h,N}$	$N_{Rk,sp}$				
238,1570	680	340	462400	536050	0,7750	1	1	1	1,3656	213,9698				
Tração Aço		Rotura combinada		Cone de betão		Fendilhação								
$N_{Sd}$ (kN)	57,4760	$N_{Sd}$ (kN)	281,8924	$N_{Sd}$ (kN)	281,8924	$N_{Sd}$ (kN)	281,8924							
$N_{Rd,s}$ (kN)	84	$N_{Rd,p}$ (kN)	210,7766	$N_{Rd,c}$ (kN)	126,2632	$N_{Rd,sp}$ (kN)	142,6465							
Corte Aço (Anc. apenas)														
$V_{Sd,s}$ (kN)	$k_{50}$	$V_{Rk,s}$ (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)											
5,4100	0,5	63	50,4											
Pry-out														
$V_{Sd,s}$ (kN)	$k_3$	$N_{Rk,c}$ (kN)	$V_{Rd,cp}$ (kN)											
28,896	2	189,3948	252,5264											
Concrete cone Edge														
$V_{Sd,s}$ (kN)	lf (mm)	$k_1$	$\alpha$	$\beta$	$V_{Rk,c}^0$ (kN)	$A_{c,V}^0$	$A_{c,V}$	$\psi_{s,V}$	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{h,V}$	$\psi_{re,V}$	$\alpha_v$ (rad)	$\psi_{\alpha,V}$	$V_{Rd,c}$
24,08	192	2,4	0,1503	0,0716	25,7701	32512,5	76627,5	1	1	1	1	3,1416	1	40,4910



### 5.6.3 PERFIL IPE 330

Tabela 5.31 - Verificação de segurança à rotura combinada à tração e ao corte segundo o prEN1992-4:2013

$\beta_{N1}$	$\beta_{N2}$	$\beta_{N3}$	$\beta_{N4}$	$\beta_{N,max}$
0,4688	0,7989	1,3276	1,1755	1,3276
$\beta_{V1}$	$\beta_{V2}$	$\beta_{V3}$	$\beta_{V,max}$	
0,0929	0,1214	0,1132	0,1214	
$(\beta_N + \beta_V) \leq 1,2$				
1,2075				
$\alpha$	$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1$			
1,5	1,5719			

Tabela 5.32 - Verificação de segurança à rotura à tração e ao corte segundo o prEN1992-4:2013

$\tau_{Rk,ucr}$	$\tau_{Rk,ucr,25}$	$N_{Rk,p}^0$	$S_{cr,Np}$	$C_{cr,Np}$	$A_{p,N}^0$	$A_{p,N}$	$\psi_{s,Np}$	$k_8$	$\psi_{g,Np}^0$	$\psi_{g,Np}$	$\psi_{ec1,Np}$	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{re,Np}$	$N_{Rk,p}$
18,79	18	236,1221	495,7419	247,8709	245760	371134	0,8029	11	1,0158	1,0074	1	1	1	288,3990
$k_9$	$N_{Rk,p}^0$	$S_{cr,N}$	$C_{cr,Np}$	$A_{c,N}^0$	$A_{c,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{ec1,N}$	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{re,N}$	$N_{Rk,c}$				
11	238,1570	750	375	562500	533700	0,7680	1	1	1	173,5399				
$N_{Rk,c}^0$	$S_{cr,sp}$	$C_{cr,sp}$	$A_{c,N}^0$	$A_{c,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{ec1,N}$	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{re,N}$	$\psi_{h,N}$	$N_{Rk,sp}$				
238,1570	680	340	462400	491000	0,7750	1	1	1	1,3656	195,9876				
Tração Aço		Rotura combinada				Cone de betão			Fendilhação					
$N_{Sd}$ (kN)	39,3804	$N_{Sd}$ (kN)		153,5918		$N_{Sd}$ (kN)		153,5918		$N_{Sd}$ (kN)		153,5918		
$N_{Rd,s}$ (kN)	84	$N_{Rd,p}$ (kN)		192,2660		$N_{Rd,c}$ (kN)		115,6932		$N_{Rd,sp}$ (kN)		130,6584		
Corte Aço (Anc. apenas)														
$V_{Sd,s}$ (kN)	$k_{50}$	$V_{Rk,s}$ (kN)	$V_{Rd,s}$ (kN)											
4,6820	0,5	63	50,4											
Pry-out														
$V_{Sd,s}$ (kN)	$k_3$	$N_{Rk,c}$ (kN)	$V_{Rd,cp}$ (kN)											
28,092	2	173,5399	231,3865											
Concrete cone Edge														
$V_{Sd,s}$ (kN)	lf (mm)	$k_1$	$\alpha$	$\beta$	$V_{Rk,c}^0$ (kN)	$A_{c,V}^0$	$A_{c,V}$	$\psi_{s,V}$	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{h,V}$	$\psi_{re,V}$	$\alpha_v$ (rad)	$\psi_{\alpha,V}$	$V_{Rd,c}$
15,61	192	2,4	0,0859	0,0573	106,5481	32512,5	63112,5	1	1	1	1	3,1416	1	137,8858

#### 5.6.4 DIMENSIONAMENTO DE ARMADURAS SUPLEMENTARES

Como se pode verificar através dos cálculos expostos, há muitas verificações de segurança que falham (ver Tabela 5.33 - Comparação de resultados segundo o prEN1992-4:2013)

Tabela 5.33 - Comparação de resultados segundo o prEN1992-4:2013

Modo de Rotura		PRS 550x415x15	PRS C 550x215x15	IPE 330
<b>Tração</b>	Aço	Não Falha	Não Falha	Não Falha
	Rotura combinada entre arranque e cone de betão	Falha	Falha	Não Falha
	Cone de betão	Falha	Falha	Falha
	Fendilhação	Falha	Falha	Falha
<b>Corte</b>	Aço	Não Falha	Não Falha	Não Falha
	"Pry-Out"	Não Falha	Não Falha	Não Falha
	Rotura do bordo	Não Falha	Não Falha	Não Falha
	Rotura combinada entre tração e corte	Falha	Falha	Falha

No entanto, o prEN1992, oferece uma solução que é o dimensionamento de armaduras para resistir às falhas devido a roturas por cone de betão e fendilhação. As equações 5.28, 5.29, 5.30 e 5.31 especificam a quantidade de armaduras a aplicar.

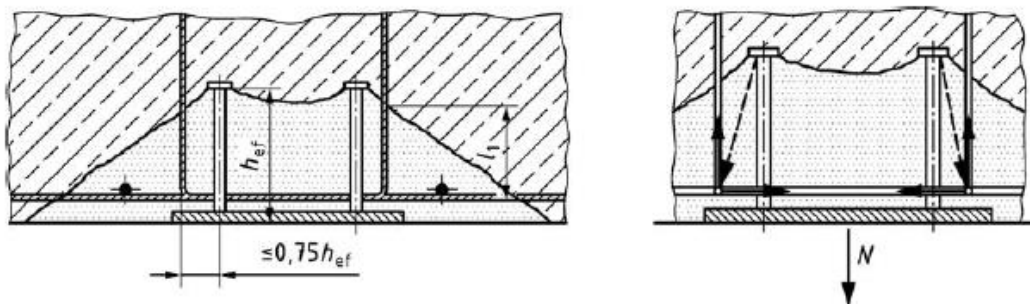


Figura 5.26 - Armadura suplementar para cone de betão

Na fase de pré-dimensionamento, foram calculadas armaduras transversais que poderão servir o mesmo propósito que as especificadas na Figura 5.26 - Armadura suplementar para cone de betão. Alias, até se determinou uma solução significativamente superior à necessária (em vez de 4 ramos  $\phi 8//0,15$  adotou-se a solução de 4 ramos  $\phi 8//0,10$ ) para fazer face a algumas imponderabilidades. Ou seja, pode-se verificar se essas armaduras são suficientes para dar resposta a essas anomalias.

Tabela 5.34 - Resultados obtidos

$n_{re}$	$d_s$ (mm)	$\alpha$	$l_1$	$k_6$	$k_{12}$	$A_{s,re}$ ( $cm^2$ )	$f_{yk,re}$ (MPa)	$f_{bd}$ (MPa)	$N_{Rd,re}$ (kN)	$N_{Rd,a}$ (kN)	$\sum N_{ed}$ (kN)
4	12	0,7	0,08	1,0	0,5	2,01	500	3	196,69	77,55	6993,458

Para avaliar os esforços que atuam na armadura suplementar devido a tensões de tração aplicadas nas ancoragens tem de se recorrer à seguinte equação:

$$N_{Ed,re} = N_{Sd} = 57,48 \text{ kN}$$

Ou seja, os esforços atuantes nas ancoragens são os que devem ser considerados para as armaduras suplementares.

Como se pode verificar pela tabela acima exposta, as armaduras transversais previamente instaladas conseguem fazer face à rutura por fendilhação. No que à rutura por cone de betão diz respeito, considerando as indicações da Figura 5.26 e o que já foi mencionado acerca das armaduras suplementares, pode afirmar-se que as armaduras transversais não são suficientes para fazer face à rutura devido a cone de betão. Como não dispõem de varões colocados paralelamente às ancoragens, tal como exibido na Figura 5.26, não é possível gerar a reação às forças de tração. Contudo, é esperado que as armaduras da laje que amarram na viga possam surtir esse efeito, desde que possuam um diâmetro de 12 mm (verificar dados da tabela).

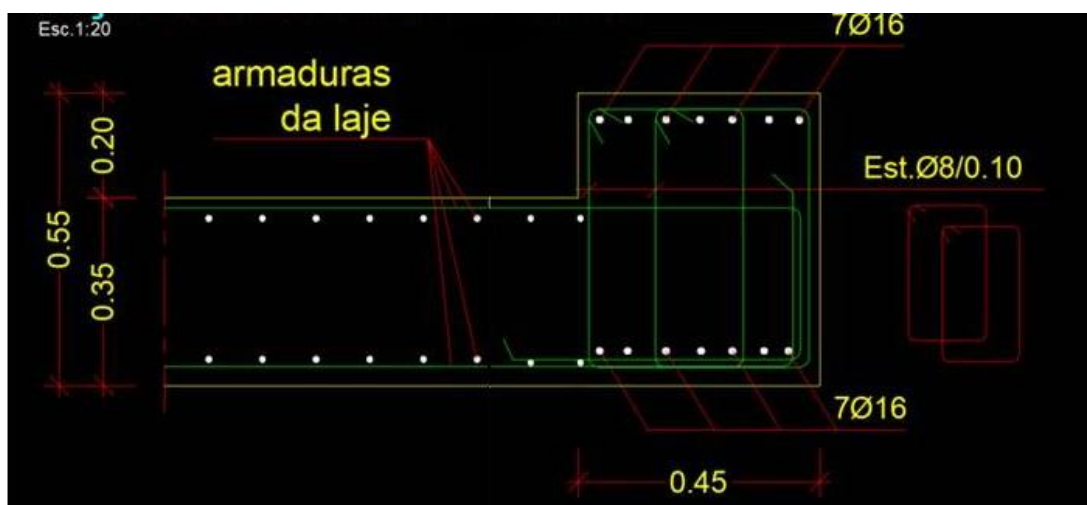


Figura 5.27 - Solução de armaduras para a viga

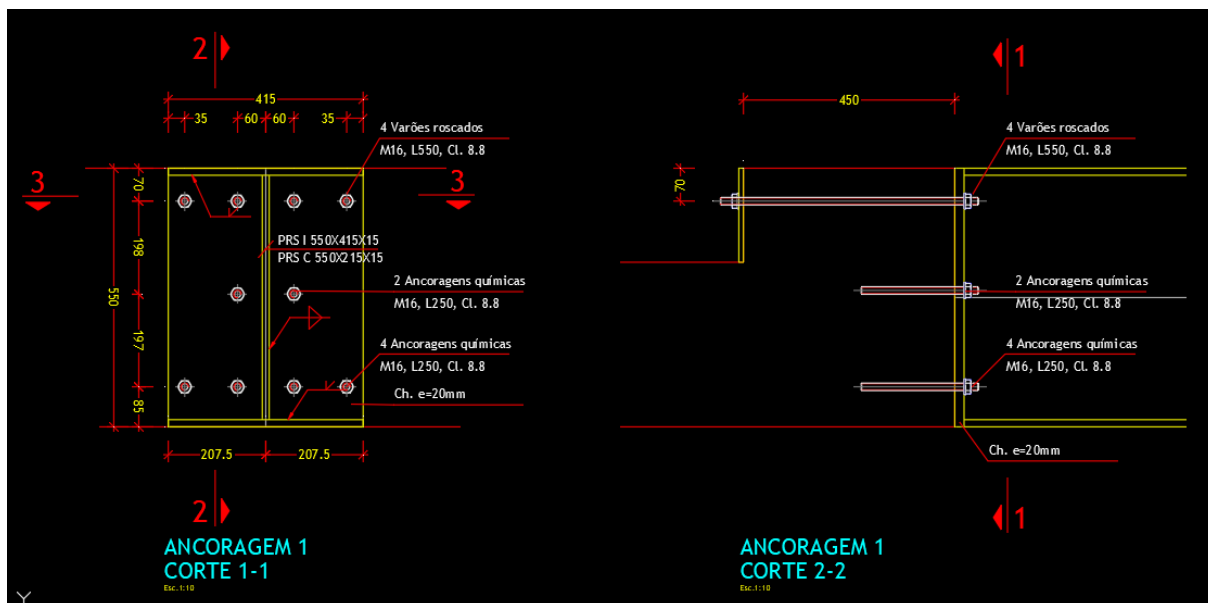


Figura 5.28 - Solução de ancoragens referente aos perfis PRS e PRS C

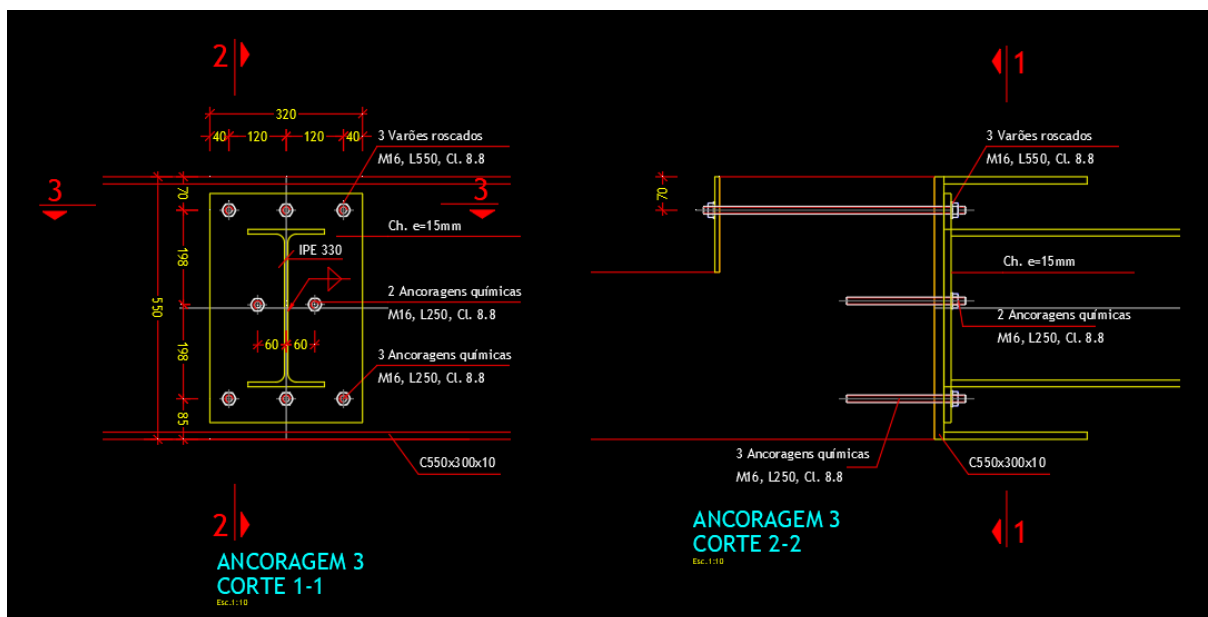


Figura 5.29 - Solução de ancoragens referente aos perfil IPE



# 6

## CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

### 6.1 RECOMENDAÇÕES PARA INTEGRAÇÃO EM BIM

Ora, se há algo que ficou perceptível ao longo deste trabalho é que a integração BIM de um produto (seja ele qual for) é uma combinação entre o perfil de trabalho do interveniente no projeto e as ferramentas que este dispõe. Quer isto dizer que, paralelamente ao domínio/conceção de ferramentas de trabalho mais ou menos orientados para BIM, há que existir uma predisposição entre os vários parceiros para trabalhar de forma colaborativa.

Quanto ao último aspeto, já se percebeu que não é uma questão simples de se resolver. Levantam-se algumas questões como: quando é a altura indicada para se envolver um determinado parceiro; as qualificações do pessoal envolvido na solução proposta; entre outras. As questões aqui levantadas são um bom mote para análise que se pretende fazer.

Apesar do objetivo principal da empresa de acolhimento ser a venda do produto, não torna menos verdade que as ancoragens são um importante elemento estrutural de elevada importância. Aliás, o exemplo pratico, que foi amplamente abordado, demonstrou exatamente isso. Então, e respondendo a uma das perguntas, convém que o parceiro em causa intervenha no projeto o mais antecipadamente possível, pois as propriedades mecânicas do produto têm bastante influência na fase de dimensionamento. Além disso, questões como o eventual desconhecimento sobre o funcionamento destes elementos, os regulamentos existentes para o seu dimensionamento, a vasta oferta de produtos desta família e a conformidade dos mesmo com critérios de qualidade em vigor, tornam imprescindíveis o acompanhamento do parceiro responsável por esta área na escolha da solução mais adequada. Depois, mais a jusante, na fase de implementação, há que fornecer o acompanhamento necessário para a correta aplicação das ancoragens. Não será de todo incorreto afirmar que a mão de obra presente nas construções não está sempre informada das mais recentes atualizações deste produto (ou até da sua aplicação), portanto, dedicar alguma atenção nesta fase não é uma perda de tempo. Poderá até constituir uma boa oportunidade para implementar outro tipo de soluções mais eficiente que circunscrevam a instalação das ancoragens.

Em relação a estes aspetos, a empresa em questão providencia um acompanhamento em toda a linha do projeto. Tem pessoal dedicado a contactar os gabinetes de projeto, assim como a visitar a obra, e também pessoal mais dedicado na solução de problemas que requeiram mais engenho. É de salientar que todos estes atores, assim como as soluções que propõe estão devidamente qualificados.

No plano das ferramentas de trabalho, a empresa em questão já deu passos no sentido de aproximar os seus produtos ao conceito BIM através do software de dimensionamento de ancoragens. Este software,

torna mais célere o processo de dimensionamento e até permite exportar as suas soluções para softwares BIM, como o Revit. No entanto tem algumas limitações, que se dividem essencialmente no âmbito do dimensionamento e no BIM. Em relação ao primeiro, o software em causa, o PROFIS, apenas considera o dimensionamento na ótica do tipo de ancoragens, na geometria de elementos como o material base, a chapa de fixação e das próprias ancoragens. No entanto, há outro tipo de soluções que permite melhorar as propriedades mecânicas do betão (à exceção do aumento da classe de resistência) e viabilizar o uso de uma ancoragem, como a adoção de armaduras suplementares. Ou seja, torna o dimensionamento incompleto. Em relação ao segundo aspeto, as soluções exportadas para Revit não são parametrizadas, e só esse pormenor faz toda a diferença. Recomenda-se que se procure criar uma forma de parametrizar todas as soluções de forma automática, ou então, que aloquem recursos humanos a essa tarefa.

Seria também interessante que a empresa de acolhimento, elaborasse um site onde os seus clientes poderiam submeter as soluções calculadas através do software com o objetivo de obter um orçamento de forma mais expedita.



## **6.2 CONCLUSÃO**

O objetivo desta dissertação era dimensionar ligações com base nas normas em vigor e no prEN1992-4:2013 e recomendar soluções para a integração em BIM.

Para tal foi necessário dominar o tópico das ligações (mais concretamente, as ancoragens) e o conceito BIM.

Começando pelas ligações. A abordagem a este tema incidiu sobre o universo dos elementos instalados posteriormente à cura de betão, mais especificamente, as ancoragens. Aqui, detalharam-se questões como: o que são estes elementos; que formas podem assumir; funcionamento e modos de rotura; vantagens e desvantagens associadas a cada tipo de ancoragem; instalação; e normas de dimensionamento. Em suma, as ligações, sejam estas ancoragens ou não, servem, como o próprio nome indica, para ligar diferentes segmentos de uma estrutura. Para tal, têm de conseguir transmitir os esforços da estrutura a suportar para o material base. Depois, dependendo das condicionantes decorrentes das características da aplicação ou do projeto, pondera-se que tipo de ancoragem servirá como solução, ou seja, se se adota uma solução com ancoragens químicas ou mecânicas. Concluído o dimensionamento com base nas normas em vigor, segue a fase de conceção, onde serão instaladas as ancoragens. É importante que se siga à risca os detalhes de instalação, pois é possível que uma instalação deficiente não ative a ancoragem.

Ora, como referido anteriormente, um dos objetivos desta dissertação era o dimensionamento das ligações, e foi isso que foi feito. Primeiro, começou-se por pré-dimensionar uma solução (ou, se for preferível, a dimensionar) com base nos conceitos abordados ao longo do curso de Engenharia Civil. Após a verificação de segurança aos diferentes modos de rotura que se conheciam, dimensionaram-se, caso necessário, as respetivas armaduras para resistir a esses modos de rotura. Essas armaduras serviriam para melhorar as propriedades resistentes do material base quando suscetível às roturas que podiam ocorrer na viga, mas também, para fazer face aos modos de rotura associados às ancoragens. Acreditava-se que tal fosse possível, pois a rotura da ancoragem pelo material base (neste caso, betão) não é nada mais do que o destacamento de uma parte do mesmo e, nesse sentido, a colocação de armaduras erradicaria ou, pelo menos, mitigaria essa vulnerabilidade. Posteriormente, definiu-se um número e uma geometria de ancoragens e varões adotar. Para esse efeito, recorreu-se a uma distribuição elástica de tensões e com base na respetiva ETA chegou-se a uma solução. Não podendo aferir com averiguação com maior rigor a qualidade da solução admitida, seguiu-se para o dimensionamento com base no EOTA TR029 e o prEN1992-4:2013.

O dimensionamento com base no relatório EOTA TR029, é feito na ótica das ancoragens, ou seja, só considera questões relacionadas com as dimensões da ancoragem, a geometria do grupo de ancoragens, a classe de resistência do material base, e pouco mais. O resultado, é que as ancoragens estavam mais suscetíveis aos modos de rotura e não havia muitas soluções que pudessem ser adotadas sem que implicassem uma alteração da arquitetura do edifício, o que não é desejável.

Já o prEN1992, além de considerar todas as disposições referidas no EOTA TR029 ainda contemplava soluções com armaduras suplementares que permitiam ignorar fenómenos como a rotura por cone de betão, fendilhação e a cedência do bordo. Ou seja, veio corroborar os princípios que sustentaram o pré-dimensionamento. Tanto que se optou por verificar se as armaduras previamente dimensionadas serviam para prevenir essas roturas.

No âmbito do BIM, o objetivo era o de estudar com bastante detalhe o tema e procurar uma forma de implementar os elementos de ligação em BIM.

Primeiro, é mais ou menos generalizada a ideia de que BIM é um software, o que está errado. BIM significa Building Information Modeling e é uma metodologia de trabalho que permite a partilha de informação com recurso a uma plataforma digital. O motivo por que nasce este conceito é fruto da incessante procura por projetos mais sustentáveis, rentáveis e eficientes por parte da indústria AEC.

Após o recurso a alguns modelos contratuais como o contrato tradicional e o conceção/construção, a indústria AEC começou a perceber que um modelo de trabalho colaborativo, onde se procurava envolver o maior numero de partes interessadas na fase de dimensionamento (sejam estas, o Dono de Obra, os Facilities Managers, os inquilinos, etc.), prevenia muitos erros na fase de construção e até divergências entre a realidade e a expectativa. Surge assim o conceito IPD. Entretanto, questões como a otimização do fluxo de trabalho começam a ganhar destaque. Para dar resposta a esse desafio, implementa-se um conceito de trabalho associado à produção em massa, chamado LEAN. A otimização do fluxo de trabalho passa em grande parte pela automação de processos e pelo ajuste no momento certo das necessidades de produção, o que significa que a produção é controlada pela necessidade. É assim que nasce o BIM.

Em seguida, procurou-se enumerar todas as aplicações do BIM. Destaca-se, a esse propósito, a maior prevenção de erros na fase de conceção. Sendo BIM uma metodologia assente numa plataforma digital, explicaram-se quais foram os grandes desenvolvimentos nessa área e, sem dúvida alguma, o feito mais assinalável é o formato universal IFC. Foram feitas abordagens aos riscos e desafios futuros do BIM, que ainda são consideráveis.

Relativamente ao desafio de implementar as ancoragens em BIM, foram elencadas algumas considerações sobre a relação estabelecida entre a empresa de acolhimento e os seus parceiros de projeto (ou seja, a Hilti e os seus clientes) e também foi analisada a ferramenta que mais se aproxima do conceito BIM, tecendo-lhe alguns comentários.

A este respeito, deve-se dizer que o exercício de implementar as ancoragens em BIM foi muito singelo, o que contrasta com o estudo aprofundado que lhe foi dedicado.

### **6.3 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

O BIM será, inevitavelmente, o próximo passo da indústria AEC, no entanto, ainda há muitas questões a esclarecer para que este conceito possa proliferar em Portugal. Todas as questões de ordem técnica, e jurídica só se resolverão se houver um forte compromisso de apostar neste conceito.

Esse compromisso terá de ser fincado tanto pelas empresas (ou se preferir, o mercado), como pelo poder legislativo e, até mesmo, pelos estabelecimentos de ensino. O raciocínio é simples: a entidade que der o primeiro passo forçará as restantes a seguirem o mesmo caminho.

Por exemplo, se for publicada uma lei em Diário da República que obrigue a indústria AEC a adotar procedimentos mais orientados para o BIM, com intuito de promover práticas mais sustentáveis (e não

só), isso irá obrigar as empresas do setor a adaptarem-se ao novo paradigma e os estabelecimentos de ensino, por sua vez, terão de preparar os seus alunos para as exigências do mercado.

Ou então, serem as próprias empresas a procurarem processos mais eficientes e que permitam acrescentar mais valor aos seus projetos. Isso provocará a reação em cadeia referida no parágrafo anterior.

Por último, se os estabelecimentos de ensino começarem a integrar unidades curriculares sobre o BIM, serão cada vez mais os profissionais formados com essas valências a inundar o mercado. Isso fará com que, de uma forma natural, as empresas comecem a adotar metodologias de trabalho BIM.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Hilti Portugal, “Formação em ancoragens para instaladores -folheto- 1,” pp. 1–29, 2018.
- [2] Hilti, “Sistemas de Ancoragens,” 2013.
- [3] Hilti Portugal, “Webinar Hilti-Como seleccionar e calcular sistemas de ancoragem.”
- [4] European Organisation For technical Approvals, “Who we are? - EOTA.” [Online]. Available: <https://www.eota.eu/en-GB/content/who-we-are/33/>.
- [5] A. Luísa and F. Azevedo, “Dimensionamento de ligações aço-betão segundo a prEN1992-4:2013,” 2015.
- [6] European Organisation For technical Approvals, “TECHNICAL REPORT Design of Bonded Anchors,” no. September, 2010.
- [7] European Organisation for Technical Approvals, “ETAG 029 Edition April 2013 Annex C : DESIGN METHODS FOR ANCHORAGES,” no. April, 2013.
- [8] EU Office, “Regulation of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC Text with EEA relevance,” *Off. J. Eur. Union*, no. 305, pp. 43–88, 2011.
- [9] European Organisation For technical Approvals, “How to Find a TAB? - EOTA.” [Online]. Available: <https://www.eota.eu/en-GB/content/how-to-find-a-tab/55/>. [Accessed: 30-Jul-2018].
- [10] S. Azhar, “Building Information Modeling ( BIM ): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects,” *Construction*, 2008.
- [11] J. C. Lino, M. Azenha, and P. Lourenço, “Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas,” *Encontro Nac. Betão Estrutural -BE2012*, pp. 24–26, 2012.
- [12] American Institute of Architects California Council, “Integrated Project Delivery : A Guide,” 2007.
- [13] H. M. Nunes, “Sistemas de Classificação de Informação da Construção Proposta de metodologia orientada para objetos BIM,” 2016.
- [14] A. Cavieres, R. Gentry, and T. Al-Haddad, “Knowledge-based parametric tools for concrete masonry walls: Conceptual design and preliminary structural analysis,” in *Automation in Construction*, 2011.
- [15] H. J. C. de Sousa, J. P. da S. P. Martins, and A. G. C. Monteiro, “BIM - WIQI GEQUALTEC.” [Online]. Available: <https://paginas.fe.up.pt/~gequaltec/w/index.php?title=BIM>.

- [16] L. Koskela, "Application of the new production philosophy to construction," *Cent. Integr. Facil. Eng.*, 1992.
- [17] H. G. Ballard, "THE LAST PLANNER SYSTEM OF PRODUCTION CONTROL," The University of Birmingham, 2000.
- [18] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modelling For Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors Second Edition*. 2011.
- [19] V. Bazjanac, "Virtual building environments (VBE)-applying information modeling to buildings," in *eWork and eBusiness in architecture, engineering and construction: proceedings of the 5th European Conference on Product and Process Modelling in the Building and Construction Industry: ECPPM 2004, 8-10 September 2004, Istanbul, Turkey*, 2004.
- [20] J. Carmona and K. Irwin, "BIM: Who, What, How and Why," *facilitiesnet*. 2007.
- [21] S. Azhar, "Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry," *Leadersh. Manag. Eng.*, 2011.
- [22] S. O. House *et al.*, *Adopting BIM for facilities management: Solutions for managing the Sydney Opera House*. 2007.
- [23] B. Giel, R. R. A. Issa, and S. Olbina, "Return on investment analysis of building information modeling in construction," *Proc. Int. Conf. Comput. Civ. Build. Eng.*, p. 153, 2010.
- [24] M. Bayyari, "List of BIM Software & Providers | Reviews | The BIM Hub," *theBIMHub*, 2015. [Online]. Available: <https://thebimhub.com/2015/08/17/list-of-bim-software-providers/#.W1-q5dJKjcs>. [Accessed: 31-Jul-2018].
- [25] C. Eastman, *Building product models: Computer Environments Supporting Design and Construction*. 1999.
- [26] BuildingSMART, "Home — Welcome to buildingSMART-Tech.org," 2018. [Online]. Available: <http://www.buildingsmart-tech.org/>. [Accessed: 30-Jul-2018].
- [27] S. Azhar, M. Hein, and B. Sketo, "Building Information Modeling ( BIM ): Benefits , Risks and Challenges," *BIM-benefit Meas.*, 2007.
- [28] D. B. Thomson and R. G. Miner, "Building Information Modeling - BIM: Contractual Risks are Changing with Technology," pp. 1–4, 2006.
- [29] P. G. Bernstein and J. H. Pittman, "Barriers to the Adoption of Building Information Modeling in the Building Industry," *Autodesk Build. Solut. White Pap.*, 2004.
- [30] N. M. Post, "Building Team Members See Progress and Problems.," in *ENR: Engineering News-Record*, 2009.
- [31] G. Lee, R. Sacks, and C. M. Eastman, "Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system."
- [32] Monteirô André, "AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DO MODELO IFC AO LICENCIAMENTO AUTOMÁTICO DE PROJECTOS DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO PREDIAL DE ÁGUA."
- [33] Y. T. Lee, "INFORMATION MODELING: From Design To Implimentation," in *Proceedings of the second world manufacturing congress Canada/Switzerland: International Computer Science Conventions*, 2004, no. January, pp. 1–7.
- [34] ISO, "The different types of ISO publications." [Online]. Available: <https://www.iso.org/deliverables-all.html#TS>. [Accessed: 30-Jul-2018].

- [35] M. Baldwin, “BIM Guides and Standards,” no. February, 2014.
- [36] ISO, “Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries,” *ISO 16739*, p. 23, 2013.
- [37] The British Standards Institution, “BS ISO 29481-1:2016 Building information models — Information delivery manual Part 1: Methodology and format.” 2012.
- [38] ISO, “ISO 12006-2:2015 - Building construction - Organization of information about construction works - Part 2: Framework for classification,” pp. 1–17, 2015.
- [39] K. Afsari and C. M. Eastman, “A Comparison of Construction Classification Systems Used for Classifying Building Product Models,” *52nd ASC Annu. Int. Conf. Proc.*, 2016.
- [40] “ProNIC - WIQI GEQUALTEC,” 2011. [Online]. Available: <https://paginas.fe.up.pt/~gequaltec/w/index.php?title=ProNIC>. [Accessed: 30-Jul-2018].
- [41] “NP EN 1992-1-1 – Projecto de estruturas de betão: Regras gerais e regras para edifícios (2010).”
- [42] *Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado; Decreto-Lei nº 349- C/83, de 30 de Julho.* .
- [43] “DRAFT prEN1992-4. Eurocode 2: Design of concretes structures- Part 4:Design of fastening for use in concrete, CEN-CENELEC, Setembro 2013.”